УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Компьютерные системы»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ по курсу
«НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ»
для студентов направления
5811300-«Сервис» (электронной и компьютерной техники)

Ташкент 2008

УДК 681.3

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Надежность технических средств».
Расулова С.С., Каххаров А.А. /ТУИТ. 54 с. Ташкент, 2008.

В данной работе рассматриваются лабораторные работы по курсу «Надежность технических средств» и методика их выполнения. Основной целью работы является практическое ознакомление с методами оценки надежности, с приемами создания алгоритмов исследования работоспособности и изучение методов генерирования тестов для цифровых устройств компьютерной техники (КТ). Приобретения навыков использования данных алгоритмов при решении соответствующих задач с применением компьютеров.

Предназначены для студентов обучающихся по направлению 5811300-«Сервис» (электронной и компьютерной техники) по курсу «Надежность технических средств».
Кафедра «Компьютерные системы».

Табл. 10. Ил. 17 Библиогр.: 8 назв.

Печатается по решению научно-методического совета Ташкентского университета информационных технологий.

Рецензенты: проф., д.т.н. Сагатов М.М. (ТГТУ)
д.ф-м.н Азаматов З.Т. (Зав. отделом ГКНТ)

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Перед получением задания студент должен повторить соответствующие разделы курса «Надежность технических средств», прочесть указанную в работе литературу, изучить материалы, связанные с особенностями решения заданной задачи на компьютере, подготовить по каждому пункту «Задание и порядок выполнения работы» расчетные и теоретические материалы. Перед началом работы необходимо предъявить преподавателю рабочие материалы для их проверки к обсуждению.
2. Задание по расчету надежности обычно содержит структурную схему объекта исследования, для которого необходимо определить значение заданного показателя надежности, закон функционирования системы при отказах её компонент, а также надежностные характеристики элементов объекта.
3. Подготовив исходные данные в соответствии с особенностями исследуемой структурной схемы, требуемой точностью исследования, возможностями универсальных алгоритмов, студент представляет их в форме, удобной для ввода в компьютер.
4. Проверив правильность представления исходных данных, студент настраивает соответствующую модель для решения конкретной задачи. В ходе работы в диалоговом режиме вносит коррекции в исходные данные с целью получения заданных значений показателей надежности исследуемого объекта.
5. Задание по тестированию обычно держит цифровую схему реализующую произвольную функцию, для которой необходимо найти тесты неисправностей типа $x/0$ или $x/1$, используя различные способы построения тестов.
6. Проверив правильность представления исходных данных, студент, используя заданный метод генерирования тестов, решает конкретную задачу на компьютере.
7. После выполнения работы, получения результатов, анализа полученных решений каждый студент обязан представить преподавателю аккуратно оформленный отчет.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕСТИРОВАНИЯ

Задачи тестирования. Особенности организации процесса обработки информации, введение новых технологий на стадии производства и оригинальные схемотехнические решения позволяют выделить современные цифровые устройства (ЦУ) в особый класс устройств, требующих разработки специальных процедур определения их работоспособности. Это однако, не означает отказ от широко применяемых в настоящее время методов обнаружения и поиска неисправностей ЦУ.

Целесообразным представляется подход, основанный на оптимальном использовании результатов, полученных за последние годы в области контроля и технической диагностики, с учетом особенностей архитектуры и логики функционирования ЦУ.

Под тестированием ЦУ будем понимать процесс установления исправности или работоспособности устройства с помощью определенных входных воздействий и анализа соответствующих выходных воздействий и анализа соответствующих выходных реакций.

Тестирование является одной из основных процедур диагностики, задачами которой являются определение технического состояния объекта контроля и в случае его неработоспобности – обнаружение и локализация неисправностей.

Совокупность входного воздействия и соответствующей ему выходной реакции называется тестом, а упорядоченная последовательность тестов – тестовой программой. Процедура контроля ЦУ состоит из разработки тестовой программы, последующей подачи входных воздействий на контролируемый прибор, наблюдения выходных сигналов и анализа полученных результатов с целью установления годности изделия.

Процедура контроля обеспечивает полный (неполный) контроль ЦУ, если она обнаруживает любую (не обнаруживает хотя бы одну) неисправность рассматриваемого класса нарушений. Полнота контроля является одним из основных требований, предъявляемых к разрабатываемой тестовой программе устройства. Другим – длина тестовой программы. В зависимости от того, что является информацией для создания тестовой программы ЦУ, различают два контроля: функциональный и структурный.

При функциональном контроле в качестве исходной информации для построения тестов используется алгоритм функционирования ЦУ. Необходимость функционального контроля вызывается отсутствием полной информации о причинах отказов, повышенной сложностью контролируемого устройства, пониженными требованиями к полноте контроле и т.п. Функциональный контроль чаще всего применяется пользователями ЦУ.

Методы построения тестов для структурного контроля ориентируются на принципиальную схему (структуру) проверяемого ЦУ. Они используются на стадии производства. Эти методы в настоящее время разработаны наиболее полно и на практике зарекомендовали себя при контроле и диагностике устройств, состоящих из типов элементов замены. Структурные методы обеспечивают полноту контроля.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ С РАЗВЕТВЛЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Цель работы – ознакомление с методикой исследования надежности систем с разветвленной структурой с помощью логико-вероятностных методов.

Постановка задачи: Освоить методику исследования надежности компьютерных систем с помощью универсальной программной модели, основанной на применении логико-вероятностного отображения надежностного поведения систем, изложенного в [1].

Продолжительность работы – 2 часа.

Теоретические сведения

Одним из перспективных направлений является разработка логико-вероятностных методов, математическая сущность которых заключается в использовании функций алгебры логики (ФАЛ) для аналитической записи условий работоспособности системы и в разработке способов перехода от ФАЛ к вероятностным функциям, объективно выражающим безотказность этой системы.

Расчет числовых значений на основе аналитического выражения для вероятности безотказной работы (ВБР) сводится к выполнению алгебраических операций перемножения и сложения. Существует несколько методов расчета надежности с помощью логико-вероятностных методов: табличный, схемно-логический, алгоритм разрезания, ортогонализации.

Универсальная программная модель представляет собой программную реализацию вычислительного алгоритма, осуществляющего последовательность действий над входными данными, характеризующими исследуемую систему. Результатом таких действий является получение численного значения такого показателя надежности, как ВБР системы p за заданный интервал времени T. С помощью рассматриваемого алгоритма можно исследовать надежность невосстанавливаемых избыточных систем с разветвленной структурой.

Входными данными алгоритма являются следующие: число элементов системы – n, значения ВБР элементов за исследуемый интервал времени P_i , а также двоичные векторы X_l кратчайших путей успешного функционирования системы (КПУФ), принцип получения которых будет описан ниже. Ограничения, которые предъявляются к исследуемым системам при применении вычислительного алгоритма следующие.

Система может находится только в двух состояниях: в состоянии полной работоспособности ($У$ = I) и в состоянии полного отказа ($У$ = 0). При этом предполагается, что действие системы детерминированно зависит от действия её элементов, т.е. является функцией $X_1, X_2,..., X_i,..., X_n$, которые, в свою очередь, могут находится также только в двух несовместных состояниях: полной работоспособности (X_i = 1) и полного отказа (X_i = 0). Конкретные значения двоичных переменных X_i определяют состояние системы или так называемый вектор состояний системы $X = (X_1, X_2,..., X_i,..., X_n)$, являющийся основным параметром, с которым оперирует вычислительный алгоритм.

Для того, чтобы задать функцию работоспособности, необходимую для вычисления показателя надежности, следует построить функцию алгебры логики, связывающую состояние элементов с состоянием системы. Для её получения следует использовать понятие КПУФ, которое представляет собой такую конъюнкцию её элементов, ни одну из компонент которой нельзя изъять, не нарушив функционирования системы. Такая конъюнкция записывается в виде следующей ФАЛ: $P_l = \Lambda X_i$, где i принадлежит множеству номеров KP_l , соответствующих данному l-му пути.

Другими словами, КПУФ системы описывает одно из её возможных работоспособных состояний (РС), которое определяется минимальным набором работоспособных элементов, абсолютно необходимых для выполнения заданных для системы функций. Таким образом, для исследуемой системы необходимо определить все d возможных КПУФ и тогда функция работоспособности системы записывается следующим образом:

$$У(X_1, X_2,..., X_i,..., X_n) = \bigvee_{l=1}^{d} P_l = \bigvee_{l=1}^{d} \bigwedge_{i \in K_{P_l}} [X_i] , \qquad (1.1)$$

т.е. в виде дизъюнкции всех имеющихся КПУФ.

При определении отмеченного выше показателя надежности необходимо вычислить вероятностную функцию вида

$$P\,[Y\,(X_1, \ldots, X_n) = 1] = R_c$$

при этом основные затруднения возникают из-за повторной формы ФАЛ, т.к. одни и те же работоспособные состояния будут учитываться столько раз со сколькими КПУФ они связаны.

Рассмотрим два вычислительных алгоритма, основанных на логико-вероятностном методе и выбираем наиболее эффективный для заданного варианта системы.

Порядок действий при вычислении по первому алгоритму

Для заданного варианта системы определяется совокупность всех КПУФ, которые представляются в виде двоичных слов. Число разрядов в слове равно числу элементов в системе. Значение разряда, равное 1 означает работоспособность элемента, равное 0 – соответствует отказу элемента.

Алгоритм на основании КПУФ образует все возможные двоичные слова, определяющие все работоспособные состояния системы, выбирает бесповторные и для каждого вычисляет соответствующую вероятность. Например, допустим, имеется мостиковая схема, приведенная на рис. 1, состоящая из 5 элементов, вероятность нахождения i – го элемента в работоспособном состоянии равна P_i, вероятность нахождения элемента в отказовом состоянии равна $I - P_i = Q_i$.

Для данной мостиковой схемы кратчайшими путями являются следующие: 11000, 00110, 10011, 01101.

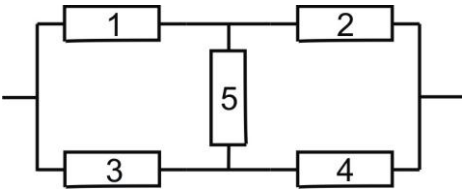

Рис. 1. Мостиковая схема

С каждым кратчайшим путем связаны работоспособные состояния, приведенные в таблице 1. Первый слева разряд соответствует элементу с номером один.

Таблица. 1

КПУФ / №БРС	1	2	3	4
1	+11000	+00110	+10011	+01101
2	+11001	+00111	10111	01111
3	+11010	+1110	11011	11101
4	+11011	+01111	11111	11111
5	+11100	+10110		
6	+11101	+10111		
7	+11110	11110		
8	+11111	1111		

Таким образом, получены 24 кода, соответствующие работоспособным состояниям системы. Однако, мы видим, что некоторые из них повторяются в столбцах таблицы. Исключим из всех 24 кодов повторные, и тогда останется 16 кодов, отмеченных в табл. 1 знаком +. Эти полученные 16 кодов соответствуют всем возможным работоспособным состояниям рассматриваемой схемы. Следовательно, система будет работоспособна, тогда, когда будет находится в одном из 16 перечисленных несовместных состояний. Если вычислить вероятности нахождения системы в каждом из 16 состояний и просуммировать эти вероятности, то получим вероятность того, что система находится в работоспособном состоянии.

Если вероятность нахождения *i*-го невосстанавливаемого элемента в работоспособном состоянии P_i представляет собой функцию времени, то получим ВБР системы за заданное время. Это и есть один из основных показателей надёжности системы.

Итак, для того, чтобы получить значение вероятности нахождения системы в одном из работоспособных состояний, необходимо в соответствующем двоичном слове заменить единицу на вероятность P_i, а ноль на вероятность $I - P_i$ и перемножить данные вероятности. Например, для кода 11000 это будет произведение

$$R_1 = P_1 \cdot P_2(1\text{-}P3)\cdot(1\text{-}P4)\cdot(1\text{-}P5)$$

Вероятность нахождения нашей системы в работоспособном состоянии определится тогда как

$$P[У(X_1,...,X_n)=1] = R_c = \sum_{k=1}^{16} R_k$$

Несмотря на простоту реализации указанного процесса на вычислительной машине, он имеет ряд недостатков. Главные из них – это требование большого объема оперативной памяти для хранения совокупности двоичных слов, а также быстрый рост числа переборов при сравнении двоичных слов и потеря точности вычислений при увеличении числа элементов системы, так как величина 1 - P_i бывает обычно малой.

Порядок действий при вычислении по второму алгоритму

В отличие от первого алгоритма, во втором расчет надежности систем с разветвленной структурой ведется с использованием табличного метода. Табличный метод расчета надежности системы основывается на использовании теоремы сложения вероятностей совместных событий, в качестве которых выступают элементарные конъюнкции условий работоспособности (или неработоспособности) систем, описанных в ДНФ с помощью КПУФ.

Согласно этой теореме и выражения (1.1) ВБР системы вычисляется по формуле:

$$P[У(X_1,...,X_n)=1] = R_c = P\{\bigvee_{l=1}^{d}\rho_l\} = \sum_{l=1}^{d} P(\rho_L) -$$

$$-\sum_{l=1}^{d-1}\sum_{j=i+1}^{d} P(\rho_l \,\&\, \rho_j) + \sum_{l=1}^{d-2}\sum_{j=i+1}^{d-1}\sum_{k=i+1}^{d} P(\rho_l \,\&\, \rho_j \,\&\, \rho_k) - ... +$$

$$+ (-1)^{d-1} P(\rho_1 \,\&\, \rho_2 \,\&\, \ldots \,\&\, \rho_l), \qquad (1.2)$$

где $\rho_l \& \rho_j$ означает совместное наступление событий, связанных с КПУФ ρ_l и ρ_j, т.е. в работоспособном состоянии находятся элементы, принадлежащие минимальному набору ρ_j.

Несмотря на громоздкость записи формул, алгоритм вычисления показателя надежности по ней оказывается простым и легко программируется. Табличный метод вычисления удобен по двум причинам:

- автоматически осуществляется умножение логических переменных самих на себя согласно тождеству

$$X_i \wedge X_i \wedge \ldots \wedge X_i \equiv X_i$$

- взаимно уничтожаются многие одинаковые конъюнкции, вероятности которых имеют различные знаки.

Последовательность шагов в алгоритме следующая:

1. Составить специальную таблицу, в которой нужно разместить n строк (по числу элементов в системе), в строках таблицы указать ВБР элементов, а в названии столбцов записать все возможные сочетания конъюнкций ρ_i взятых по одной, но две, по три и т.д.
2. *У*казать знаки вероятностей конъюнкций, чередующихся в соответствии с формулой 1.2.
3. Заполнить таблицу крестиками и черточками, вычеркивая те одинаковые конъюнкции, которые вошли в неё с разными знаками.
4. Вычислить вероятности безотказной работы системы, перемножая в каждом столбце те вероятности ρ_i , которые отмечены крестиками.

Рассмотрим пример вычисления ВБР для схемы – рис. 1.

$$Y(X_1,\ldots,X_5) = X_1X_2 \vee X_3X_4 \vee X_1X_4X_5 \vee X_2X_3X_5$$

Обозначим:

$$\rho_1 = X_1X_2;$$
$$\rho_2 = X_3X_4;$$
$$\rho_3 = X_1X_4X_5;$$
$$\rho_4 = X_2X_3X_5;$$
$$\rho_5 = \rho_1\rho_2 = X_1X_2X_3X_4;$$

$$\rho_6 = \rho_1\rho_3 = X_1X_2X_4X_5;$$
$$\rho_7 = \rho_1\rho_4 = X_1X_2X_3X_5;$$
$$\rho_8 = \rho_2\rho_3 = X_1X_3X_4X_5;$$
$$\rho_9 = \rho_2\rho_4 = X_2X_3X_4X_5;$$
$$\rho_{10} = \rho_3\rho_4 = X_1X_2X_3X_4X_5;$$
$$\rho_{11} = \rho_1\rho_2\rho_3 = X_1X_2X_3X_4X_5;$$
$$\rho_{12} = \rho_1\rho_2\rho_4 = X_1X_2X_3X_4X_5;$$
$$\rho_{13} = \rho_1\rho_3\rho_4 = X_1X_2X_3X_4X_5;$$
$$\rho_{14} = \rho_2\rho_3\rho_4 = X_1X_2X_3X_4X_5;$$
$$\rho_{15} = \rho_1\rho_2\rho_3\rho_4 = X_1X_2X_3X_4X_5.$$

вхождение того или другого элемента в состав соответствующих конъюнкций отмечается крестом в таблице. Вероятности конъюнкций – ρ_1-ρ_4 и ρ_{11}- ρ_{14} берутся со знаком (+) , остальные со знаком (-). Итак, ВБР для рассматриваемой схемы равна

$$P[Y(X_1,X_2,X_3,X_4,X_5)=1] = R_c = P\{\overset{d}{\underset{l=1}{V}}\rho_l\} = \sum_{i=1}^{4}\rho_i - \sum_{i=5}^{10}\rho_i + \sum_{i=11}^{14}\rho_i - \rho_{15}$$

Варианты заданий

Таблица 2

Варианты / ВБР(Р2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Р1	0,96	0,95	0,96	0,94	0,93	0,98	0,95	0,85	0,9	0,97
Р2	0,94	0,945	0,97	0,96	0,95	0,85	0,99	0,9	0,92	0,95
Р3	0,95	0,95	0,98	0,99	0,94	0,96	0,98	0,92	0,95	0,98
Р4	0,98	0,96	0,95	0,98	0,96	0,93	0,96	0,93	0,92	0,96
Р5	0,96	0,95	0,96	0,95	0,98	0,98	0,97	0,9	0,91	0,95

Задание и порядок выполнения работы

1. По заданным структурной схеме системы и закону её функционирования при отказах компонент определить совокупность кратчайших путей успешного функционирования системы.
2. По заданным характеристикам надежности компонент системы и показателю её надежности, а также записанным в двоичном коде КПУФ составить набор исходных данных для решения задачи анализа надежности системы.
3. Определить и записать последовательность действий по вызову подпрограммы исследования надежности систем с разветвленной структурой, вводу исходных данных и инициации процесса решения задачи.
4. Выполнить решение задачи на компьютере в диалоговом режиме с возможной коррекцией исходных данных.
5. Провести анализ результатов решения задачи, оформить отчет по работе в соответствии с требованиями на с.3.

Пример задания 1. Задана структурная схема компьютерной системы, состоящая из трех микро-ЭВМ высшего уровня (1, 2, 3) и трех микро-ЭВМ низшего уровня (4, 5, 6), представленная на рис. 2.

2. Вероятности безотказной работы микрокомпьютера за время t = 100 часов соответственно равны P_1 = 0,96, P_2 = 0,94, P_3 = 0,95, P_4 = 0,98, P_5 = 0,96, P_6 = 0,97

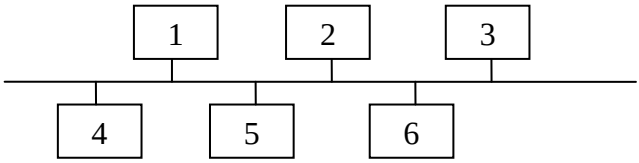

Рис. 2. Структурная схема компьютерной системы, состоящая из трех микро-ЭВМ высшего уровня и трех микро-ЭВМ низшего уровня

3. Закон функционирования компьютерной системы таков, что она будет работоспособна тогда, когда будут работоспособны по крайней мере два микро-ЭВМ высшего уровня, и два микро-ЭВМ низшего уровня.

4. Определить вероятность безотказной работы компьютерной системы за время $t = 100$ ч. с использованием универсального алгоритма исследования надежности систем с разветвленной структурой.

Пример оформления результатов по табличному методу (табл. 3)

Таблица 3

Значение вероятности безотказной работы P2	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	ρ_6	ρ_7	ρ_8	ρ_9	ρ_{10}	ρ_{11}	ρ_{12}	ρ_{13}	ρ_{14}	ρ_{15}
$P_1 = 0{,}8$	x	-	x	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x
$P_2 = 0{,}8$	X	-	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x
$P_3 = 0{,}8$	-	x	-	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
$P_4 = 0{,}8$	-	x	x	-	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x
$P_5 = 0{,}8$	-	-	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Знаки	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-
$\sum P_c$	$P^2=0{,}8^2$	$P^2=0{,}8^2$	$P^3=0{,}8^3$	$P^3=0{,}8^3$	$P^4=0{,}8^4$	$P^4=0{,}8^4$	$P^4=0{,}8^4$	$P^4=0{,}8^4$	$P^4=0{,}8^4$	$P^5=0{,}8^5$	$P^5=0{,}8^5$	$P^5=0{,}8^5$	$P^5=0{,}8^5$	$P^5=0{,}8^5$	$P^5=0{,}8^5$

Примечание: 1. Вероятности конъюнкции P1-P2 и P1-P14 берутся со знаком (+), остальные – со знаком (-).

2. Крестом обозначены элементы, входящие в состав соответствующих конъюнкций.

Требования к отчету

Отчет по работе должен включать:

1. Сведения об авторе и название задачи.
2. Постановку задачи.
3. Описание исследуемой схемы и надежностных характеристик элементов.
4. Основные допущения, принятые при исследовании надежности конкретного объекта, и принятые обозначения.
5. Блок-схему универсального алгоритма исследования надежности.
6. Исходные данные, представленные в соответствующей форме.
7. Итоговые результаты и их анализ.

Контрольные вопросы

1. Какие способы описания условий работоспособности систем вы знаете?
2. Сформулируйте теорему сложения вероятностей совместных событии?
3. Определите сущность понятия кратчайшего пути успешного функционирования.
4. В чем состоит основная трудность при переходе от функций алгебры логики к вероятностной функции?
5. Определите сущность универсального алгоритма исследования надежности систем с разветвленной структурой?
6. Как влияют на объем вычислений число КПУФ, количество элементов системы, соотношение единиц и нулей в КПУФ?
7. Каким образом в рассматриваемом алгоритме повышена точность вычислений?
8. Какие допущения (ограничения) относительно исследуемой системы накладывает изучаемая методика исследования надежности?
9. Почему удобен табличный метод вычисления ВБР?
10. Что называется функцией работоспособности системы?
11. Перечислите порядок действия (расчета) по первому алгоритму.
12. Какие входные данные используются для оценки надежности мостиковой схемы?
13. Сформулируйте постановку задачи и методику выполнения лабораторной работы.
14. Представьте мостиковую структуру системы в виде минимальных путей и минимальных сечений.

Литература: 1, 2, 3, 7.

Лабораторная работа №2

АНАЛИЗ И РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ МИКРОКОМПЬЮТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Цель работы – ознакомление с методикой оценки параметров надежности микрокомпьютера с использованием метода дифференциальных уравнений.

Постановка задачи: освоить методику анализа и оценки надежности микрокомпьютера с использованием метода дифференциальных уравнений, изложенного в [1.3].

Продолжительность работы – 2 часа.

Теоретические сведения

Составление математической модели – самое важное звено в расчетах надежности проектируемых объектов. Вид математической модели определяет возможность получения расчетных формул. Можно выделить метод интегральных уравнений, метод дифференциальных уравнений, по графе состояний и другие.

Метод дифференциальных уравнений применяется для оценки надежности любых (т.е. как восстанавливаемых, так и невосстанавливаемых объектов и основан на допущении о показательных распределениях времени (наработки) между отказами и времени восстановления. Для применения данного метода необходимо иметь математическую модель в виде множества состояний системы $S = \{S_1, S_2,..., S_n\}$, в которых она может находится при отказах и восстановлениях элементов.

При оценки надежности микрокомпьютера (МК) значительный интерес представляет расчет параметров, определяющих динамику поведения системы. Эти параметры могут быть определены, если процесс изменения состояний системы представить в виде цепи Маркова, состояния которой определяются числом отказавших элементов и состоянием систем (исправна или неисправна). Максимальное число состояний из n элементов не превышает $2n$.

Алгоритм построения Марковской модели включает в себя следующие основные этапы:

1. рассмотрение состава устройства, формирование множества возможных состояний и построение графы состояний по структурной схеме;
2. разделение вершин графа в результате анализа структурной схемы на два подмножества – работоспособное и неработоспособное состояния;
3. составление системы дифференциальных уравнений (по графу состояний);
4. формирование матрицы интенсивностей переходов системы в пространстве состояний;
5. выбор метода и решение систем дифференциальных уравнений (СДУ) с целью получения требуемых показателей надежности системы.

Надежный анализ проведен для трех процессорного варианта микрокомпьютера на основе БИС К1810ВМ86. На рис. 3 приведена структурная схема МК, где ПРЦ – процессор, ТИН – технологический интерфейс, ОЗУ – оперативное запоминающее устройство, СИНТ – системный интерфейс. Высокая надежность здесь достигается использованием в процессорном ядре трех основных вычислительных узлов, которые находятся на одной внутренней 21-разрядной шине адресов данных в нагруженном резерве [1.2]. В качестве процессора служит микропроцессор (МП) БИС К1810ВМ86 (m=3).

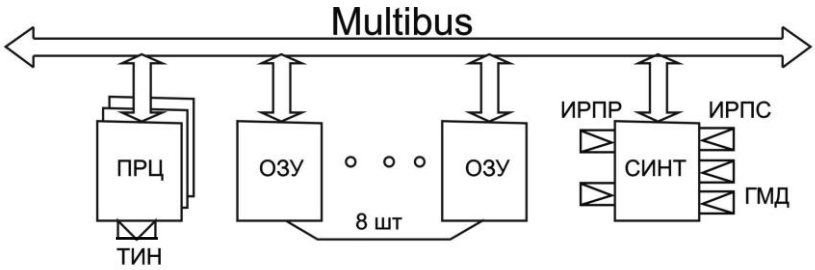

Рис. 3. Структурная схема МК

Для исследуемой конфигурации составим структурную схему надежности. На рис. 4 она представлена последовательно-параллельным включением основных блоков, где 1 – процессор, 2 – ОЗУ (их в системе восемь), 3 – два параллельных интерфейса (ИРПР), 4 – два последовательных интерфейса (ИРПС), 5 – внешняя память на гибких магнитных дисках (ГМД).

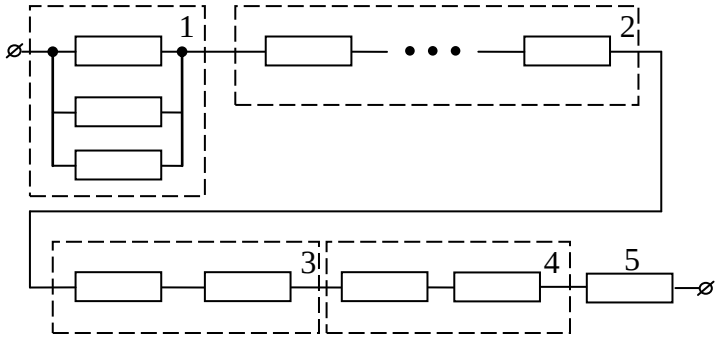

Рис. 4. Структурная схема надежности

Модель надежности микрокомпьютера. Функционирование МК представляет собой, с точки зрения надежности, последовательность чередующихся интервалов работоспособного состояния и восстановления работоспособности. Для построения Марковской модели анализируемой системы воспользуемся алгоритмом, изложенным выше и методом дифференциальных уравнений. Согласно [1.3] множество технических состояний системы сформируем по структурной схеме надежности (рис.4), учитывая множество состояний элементов (МП, ОЗУ, ИРПР и т.д.).

В табл. 4 заданы все возможные состояния системы $S = \{S_0, S_1, \ldots, S_7\}$, отображающие поведение при отказах и восстановлениях ее элементов. Математическую модель изобразим в виде графа состояний, где все множество возможных состояний МК разобъем на две части: подмножество состояний $E+$, в котором система работоспособна, и подмножество $E-$, в котором система неработоспособна. В целях упрощения аналитических выкладок состояние восьми блоков памяти ОЗУ укрупнены и заменены одним состоянием S_3. Аналогичная операция приведена для интерфейсов, состояния двух ИРПР укрупнены в одно S_4, а двух ИРПС – S_5.

Таблица 4.

Состояние элементов системы	Наименование элементов
S_0	Все элементы исправны
S_1	Отказ одного процессора
S_2	Отказ двух процессоров
S_3	Отказ ОЗУ
S_4	Отказ ИРПР
S_5	Отказ ИРПС
S_6	Отказ ГМД
S_7	Отказ трех процессоров

По графу непрерывной Марковской цепи (рис.5) составим систему дифференциальных уравнений, порядок которой определяется числом состояний МК [7]:

$$P_0'(t) = -(3\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5) \cdot P_0(t) + \sum_{i=1}^{4} \mu_{i+1} P_{i+2}(t) + \mu_1 P_1(t);$$

$$P_1'(t) = -(2\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \mu_1) \cdot P_1(t) + 3\lambda_1 P_0(t) + \mu_1 P_2(t) + \sum_{i=1}^{4} \mu_{i+1} P_{i+2}(t);$$

$$P_2'(t) = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \mu_1) \cdot P_2(t) + 2\lambda_1 P(t) + \sum_{i=1}^{4} \mu_{i+1} P_{i+2}(t) + \mu_1 P_7(t);$$

$$P_3'(t) = -3\mu_2 P_3(t) + \lambda_2 [P_0(t) + P_1(t) + P_2(t)];$$

$$P_4'(t) = -3\mu_3 P_4(t) + \lambda_3 [P_0(t) + P_1(t) + P_2(t)];$$

$$P_5'(t) = -3\mu_4 P_5(t) + \lambda_4 [P_0(t) + P_1(t) + P_2(t)];$$

$$P_6'(t) = -3\mu_5 P_6(t) + \lambda_5 [P_0(t) + P_1(t) + P_2(t)];$$

$$P_7'(t) = -\mu_1 P_7(t) + \lambda_1 P_2(t).$$

с нормированным условием $\sum_{i=1}^{8} P_i(t) = 1$.

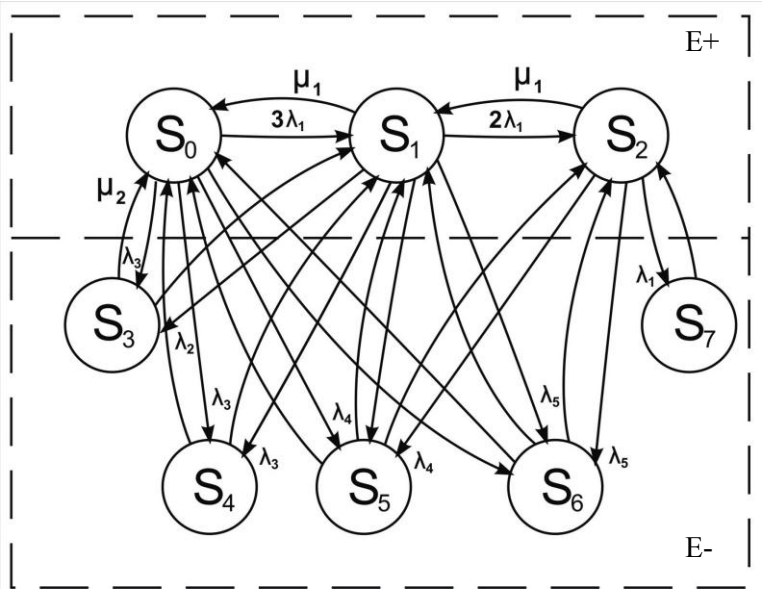

Рис. 5. Граф непрерывной Марковской цепи

При решении системы СДУ(2.1) на компьютере используем матричный метод. В матричном виде система уравнений представляется в форме Коши и для вероятности безотказной работы имеет вид

$P'(t)=K(t)P(t)$, $P(t)=P_0$, здесь $P(t)$ – восьмимерный вектор состояния ВБР системы, $K(t)$ – 8×8 мерная матрица коэффициентов при вероятностях состояний. Решение этого уравнения следующее

$$P(t) = e^{K(t)} \cdot P_0,$$

где $K(t)$ – матрица коэффициентов, полученная из уравнения (2.1) и равная

$$K(t)=\begin{vmatrix} -K_0 & 3\lambda_1 & 0 & \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_4 & \lambda_5 & 0 \\ \mu_1 & -K_1 & 2\lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_4 & \lambda_5 & 0 \\ 0 & \mu_1 & -K_2 & \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_4 & \lambda_5 & \lambda_1 \\ \mu_2 & \mu_2 & \mu_2 & -K_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_3 & \mu_3 & \mu_3 & 0 & -K_4 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_4 & \mu_4 & \mu_4 & 0 & 0 & -K_5 & 0 & 0 \\ \mu_5 & \mu_5 & \mu_5 & 0 & 0 & 0 & -K_6 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -K_7 \end{vmatrix},$$

здесь

$$K_0 = 3\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5;$$
$$K_1 = 2\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \mu_1;$$
$$K_2 = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \mu_1;$$
$$K_3 = 3\mu_2;$$
$$K_4 = 3\mu_3;$$
$$K_5 = 3\mu_4;$$
$$K_6 = 3\mu_5;$$
$$K_7 = \mu_1,$$

где λ – интенсивность отказов, μ – интенсивность восстановления.

Их условные значения приведены в таблице 5.

Таблица 5

Наименование элементов	Значение λ – 1\ч	Значение μ – 1\ч
Процессор	0,0003	0,5
ОЗУ	0,00005	0,5
ИРПР	0,00004	0,5
ИРПС	0,00003	0,5
ГМД	0,0009	0,5

В основу методики расчета МК положен экспоненциальный закон распределения, учитывающий внезапные отказы. Интегрирование системы (2.1) сводится к задаче построения матричной экспоненты и умножения ее на вектор начальных условий P_0=1, P_i=0 ($i \neq 0$). Для аппроксимации матричной экспоненты используется метод функционально – преобразованных матриц.

Контрольный пример.

$$K_0 = 3\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 = 0{,}00192;$$
$$K_1 = 2\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \mu_1 = 0{,}50162;$$
$$K_2 = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \mu_1 = 0{,}50132;$$
$$K_3 = 3\mu_2 = 1{,}5;$$
$$K_4 = 3\mu_3 = 1{,}5;$$
$$K_5 = 3\mu_4 = 1{,}5;$$
$$K_6 = 3\mu_5 = 1{,}5;$$
$$K_7 = \mu_1 = 0{,}5.$$

Таблица 6

K(t)	-0,00192	0,0009	0	0,00005	0,00004	0,00003	0,0009	0
	0,5	-0,50162	0,0006	0,00005	0,00004	0,00003	0,0009	0
	0	0,5	-0,50132	0,00005	0,00004	0,00003	0,0009	0,0003
	0,5	0,5	0,5	-1,5	0	0	0	0
	0,5	0,5	0,5	0	-1,5	0	0	0
	0,5	0,5	0,5	0	0	-1,5	0	0
	0,5	0,5	0,5	0	0	0	-1,5	0
	0	0	0,5	0	0	0	0	-1,5

Задание и порядок выполнения работы

1. По заданной структурной схеме системы и закону ее функционирования при отказах и восстановлениях элементов определить все возможные состояния системы.
2. Построить граф состояний системы.
3. По графу состояний составить СДУ, задать начальные условия.

4. На основе программы ERMIBM смоделировать и оценить надежностные параметры исследуемого объекта, подготовив предварительно исходные данные для решения на компьютере.
5. Произвести расчет и получить распечатку с результатами расчета.
6. Оформить отчет о проделанной работе.

Варианты заданий (табл. 7)

Таблица 7

T,ч / λ_i, 1/ч	10	20	30	40	50	μ 1/ч
λ_1	0,003	0,0002	0,0004	0,00029	0,0003	0,5
λ_2	0,00005	0,00007	0,00006	0,000058	0,00005	0,5
λ_3	0,00004	0,00005	0,000049	0,000039	0,00004	0,5
λ_4	0,00003	0,000029	0,000028	0,00005	0,00004	0,5
λ_5	0,0009	0,00092	0,00002	0,00094	0,00093	0,5

Здесь T – время моделирования, ч;
λ_i – интенсивность отказа i-элемента, 1/ч
μ – интенсивность восстановления, 1/ч

Требования к отчету

Отчет по работе должен включать:
1. Сведения об авторе и название работы.
2. Постановку задачи.
3. Описание исследуемой схемы и надежностных характеристик элементов.
4. Основные допущения, принятые при исследовании надежности МК, и принятые обозначения.
5. Структурную схему надежности и граф состояний системы.
6. Исходные данные, представленные в соответствующей форме.
7. Машинную распечатку с результатами расчета.
8. Итоговые результаты, их анализ и вывод по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие методы для определения показателей надежности Вы знаете?
2. Как определяются состояния элементов МК?
3. Перечислите основные этапы построения Марковской модели надежности сложной системы?
4. Для чего нужна структурная схема надежности?
5. Как определить область работоспособных состояний системы?
6. Что Вы подразумеваете под цепью Маркова?
7. Как составляются дифференциальные уравнения/уравнения Колмогорова/для определения параметров надежности исследуемого объекта?
8. Что означают условия $P_0(0) = 1$, $P_i(0) = 0$, $i = \overline{1,7}$?
9. Значения каких показателей надежности можно получить, используя рассматриваемый метод?
10. Для каких объектов целесообразно использовать данный метод?

Литература: 1, 2, 3, 7.

Лабораторная работа №3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ ПО ИНТЕРВАЛАМ ВРЕМЕНИ

Цель работы – состоит в исследовании возможностей метода моделирования поведения системы по интервалам времени для анализа надежности сложных систем.

Постановка задачи: освоить на примере универсального алгоритма и его программной реализации метод моделирования надежностного поведения системы по интервалам времени.

Продолжительность работы – 4 часа.

Теоретические сведения

При исследовании вопросов надежности процесс функционирования любой технической системы можно рассматривать, как последовательную смену ее состояний. Поэтому при моделировании воспроизводят состояние систем в характерных точках исследуемого процесса: при отказах, при восстановлениях и при техническом обслуживании отдельных элементов [1, 7].

В процессе моделирования вычисляют последовательные моменты времени (наработки), в которых происходят изменения состояний каждого из n элементов системы. После нахождения момента i-го изменения состояния j-го элемента устанавливают, является ли t_{ij} моментом отказа или восстановления элемента. Далее проводят «анализ» системы, т.е. проверяют, привело изменение состояния элемента к отказу или восстановлению системы или нет. Иначе говоря, устанавливают вид траектории функционирования системы до следующего изменения состояния одного из элементов. Затем вновь сопоставляют числа, соответствующие моментам времени появления изменений состояний элементов и т.д.

Таким образом, под надежностным поведением системы при моделировании ее по интервалам времени понимается закон ее функционирования при отказах и восстановлениях ее элементов.

При проведении лабораторной работы студент должен получить значения исследуемого показателя надежности заданной системы при различных значениях интервалов времени. При этом необходимо обратить внимание на процесс сходимости показателя надежности к истинному значению.

Уменьшение интервала времени ведет к увеличению времени моделировании на компьютере, поэтому при проведении эксперимента необходимо определить зависимость времени моделирования от интервала времени при исследовании надежности заданной системы.

Порядок действий при вычислении показателей надежности. Как и в предыдущей лабораторной работе №1 студент определяет сначала совокупность КПУФ системы. В рассматриваемый алгоритм включена подпрограмма вычисления массива РС системы. После их определения последовательность действий программы вычисления показателя надежности следующая [2]. Весь заданный промежуток времени T, на котором исследуется поведение системы, разбивается на интервалы. В каждый момент времени $m\Delta t$ вычисляются значения вероятностей нахождения системы в одном из состояний в предыдущий момент времени $(m\text{-}1)\ \Delta t$ и вероятностей переходов из одного состояния в другое за время Δt. Таким образам, если мы определим работоспособные состояния системы, начальное состояние и вероятность нахождения в нем системы в нулевой момент времени, а также вероятности переходов (или алгоритм их вычисления) из одного состояния в другое за время Δt, то можем вычислить вероятности нахождения системы в работоспособном состоянии в любой момент времени $m\Delta t$. Основное допущение, которое делается при создании алгоритма исследования системы методом моделирования по интервалам времени, является следующее: за время Δt с любым элементом системы может произойти только одно событие либо его отказ, либо восстановление. Для высоконадежных систем можно также допускать, что за время Δt в системе может произойти только одно событие – отказ только одного элемента системы или восстановление только одного элемента системы.

Алгоритм исследования надежности, основанный на рассматриваемом методе, строится, исходя из следующих предположений. Состояние анализируемой системы, состоящей из n элементов представляется двоичным кодом разрядности n, где 0 в k-том разряде свидетельствует об отказе k-го элемента, а единица – о его работоспособности. В каждый дискретный момент времени t за интервал Δt система может перейти из состояния $S_i = \alpha_1 \ldots \alpha_k \ldots a_n$ в состояние $S_j = \beta_1 .. \beta_k \ldots \beta_n$.

Метод предполагает характер перехода системы из состояния в состояние Марковским. Вероятность этого перехода будет равна

$$P_{i,j} = \prod_{k=1}^{n} P_k \ , \qquad (3.1)$$

где

$$P_k = e^{-\lambda_k(t_1)\Delta t}, \text{ если } \quad \alpha_k = 1, \quad \beta_k = 1;$$
$$P_k = 1 - e^{-\lambda_k(t_1)\Delta t}, \text{если } \alpha_k = 1, \quad \beta_k = 0;$$
$$P_k = e^{-\mu_k(t_1)\Delta t}, \text{ если } \quad \alpha_k = 0, \quad \beta_k = 0;$$
$$P_k = 1 - e^{-\mu_k(t_1)\Delta t}, \text{ если } \alpha_k = 0, \quad \beta_k = 1,$$

где $\lambda_k(t_1)$, $\mu_k(t_1)$ – соответственно интенсивности отказов и восстановлений
k-го элемента в момент времени *t*.

Если значения λ_k, μ_k зависят от времени и если характер отказов и восстановлений внезапный, то поведение системы будет описываться стационарной Марковской цепью.

В любой момент времени $m\Delta t$ вероятность нахождения системы в любом *j*-ом состоянии можно получить из следующей рекуррентной формулы:
где

$$P_j(\Delta t, m\Delta t) = \sum_{i=1}^{2n} P_{i,j}(\Delta t, (m-1)\Delta t) \cdot P_i(\Delta t, (m-1)\Delta t) \qquad (3.2)$$

$$i, j = 1,2,...,2^n; \ m = 1,2,...,N; \ \ N = T / \Delta t$$

При этом предполагается, что в начальный момент времени все элементы системы находятся в работоспособном состоянии и $P_1(0)=1$. Вычисляя вероятности работоспособных состояний системы в момент времени $m\Delta t$, можно получить мгновенную готовность системы в этот момент времени по формуле

$$P_c(\Delta t, m\Delta t) = \sum_{i/S_i \in C} P_i(\Delta t, m\Delta t) \, , \qquad (3.3)$$

где C – подмножество работоспособных состояний системы.

Если в течение всего времени T последовательно в каждый момент времени $m\Delta t$ рассматривать переходы системы лишь из работоспособных состояний в работоспособные, то можно получить значение такого показателя надежности системы, как вероятность

безотказной работы на заданном интервале времени T – $P(\Delta t, m\Delta t)$ используя формулу (3.3). $P(t)$, $w(t)$, $\alpha(t)$, $K_г$, $K_{ог}$.

Точность значений показателей надежности, получаемых по описанному выше методу, зависит от величины Δt меньше. Получение показателей надежности для некоторого значения Δt будем называть этапом.

Точность показателя надежности R на q+1 этапе определим как

$$\delta_{q+1} = \left| R(\Delta t_q) - R(\Delta t_{q+1}) \right|,$$

где $\Delta t_{q+1} = \Delta t_q / 2$, $q = 1,2,....$

На рис. 6 представлена блок-схема алгоритма вычисления вероятности безотказной работы за время T.

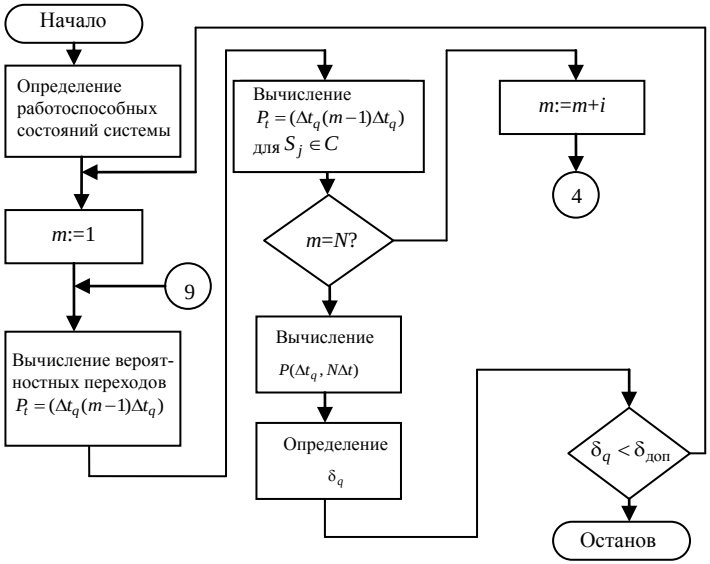

Рис. 6. Блок-схема алгоритма вычисления вероятности безотказной работы за время T

В качестве исходных данных алгоритма являются: число элементов системы n, время исследования системы T, работоспособные состояния (или кратчайшие пути успешного

функционирования, как это описано в лабораторной работе №1), интенсивность отказов и восстановлений элементов системы, точность показателя надежности $\delta_{доп}$, начальный интервал времени Δt_q, исходное состояние системы S_1=1 ...1...1, вероятность исходного состояния $P_1(0)$=l.

Алгоритм вычисляет значение заданного показателя надежности в соответствии с методикой, изложенной выше.

Задание и порядок выполнения работы

1. По заданной структурной схеме системы и закону ее функционирования при отказах элементов определить совокупность КПУФ системы.
2. Подготовить набор исходных данных для решения задачи анализа надежности системы на микрокомпьютере.
3. Определить и записать последовательность действий по вызову подпрограммы исследования надежности моделированием поведения системы по интервалам времени.
4. Выполнить решение на МК в диалоговом режиме с возможной коррекцией исходных данных.
5. Провести анализ результатов решения задачи, оформить отчет по работе.

Пример задания

1. Задана структурная схема компьютерной системы, состоящая из трех микрокомпьютеров высшего уровня (1, 2, 3) и трех микрокомпьютеров (4, 5, 6), представленная на рис. 2 (см. лаб. раб. №1).
2. Каждый микрокомпьютер характеризуется экспоненциальным законом распределения времен до отказа и восстановления. Интенсивности отказов и восстановлений соответственно равны:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = \lambda_6 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч}$$
$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = 1 \text{ 1/ч}$$

3. Определить вероятность безотказной работы МК за время T=10 ч. с использованием алгоритма исследования надежности моделированием поведения системы по интервалам времени.

4. Начальный интервал времени Δt_q = 2ч.
5. Допустимая точность вычисления показателя надежности $\delta_{доп}$ = 0,005

Контрольные вопросы

1. В чем сущность метода моделирования поведения системы по интервалам времени?
2. Каковы основные допущения при составлении алгоритма исследования надежности на основе рассматриваемого метода?
3. Каким образом достигается заданная точность вычисления показателя надежности систем?
4. Дайте сравнительную характеристику метода Монте-Карло и метода моделирования по интервалам времени при использовании их для исследования надежности систем.
5. Значение, каких показателей надежности можно получить, используя рассматриваемый метод?
6. Для каких объектов целесообразно использовать данный метод?
7. Каков характер перехода системы из одного состояния в другое состояние?
8. Чему равна вероятность перехода системы из одного состояния в другое состояние?
9. Какие виды отказов здесь учитываются?
10. Что является исходными данными алгоритма?
11. Что понимается под надежностным поведением системы?

Литература: 2, 3, 7.

Лабораторная работа №4

ТЕСТОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ

Цель работы – приобретение практических навыков в решении задач тестового диагностирования комбинационных схем на основе программы LMBIS.

Постановка задачи: освоить методику генерирования тестов для комбинационных схем с использованием D- алгоритма.

Продолжительность работы – 4 часа.

Теоретические сведения

Во всяком техническом устройстве в процессе изготовления, хранения и эксплуатации могут возникать дефекты, препятствующие его нормальному функционированию. Одним из способов обеспечения надежной работы устройства является проведение тестового диагностирования, т.е. проверка устройства путем передачи на его вход специальных воздействий, называемых тестовыми, и анализ появляющихся на выходе реакций. Неисправность обнаруживается тестом, если реакция устройства, содержащего эту неисправность, отличается от реакции исправного устройства.

Процесс тестового диагностирования можно разделить на три этапа:

- выбор тестовых воздействий (построение теста);
- выполнение проверки, т.е. подача на вход схемы тестовой последовательности и определение выходных значений;
- анализ полученных результатов.

Построение тестов осуществляется на этапе логического проектирования БИС различных устройств. Они проверяются путем моделирования устройства на компьютере. Диагностирование реального физического объекта с помощью полученных тестов производится на технических средствах, позволяющих подавать на проверяемое устройство тестовые воздействия и анализировать его реакции.

Различают контролирующие тесты, которые обеспечивают лишь обнаружение неисправности и диагностические тесты, которые

дополнительно позволяют указать её местонахождение по наблюдаемому поведению объекта. Неисправности, которые могут возникать в устройстве, принято разбивать на классы по характеру их проявления. Различают одиночные и кратные неисправности, константные и неконстантные. Мы ограничимся рассмотрением класса одиночных константных неисправностей. Это вызвано, с одной стороны, тем, что значительная часть дефектов действительно проявляется в виде одиночных константных неисправностей, а с другой стороны, наличием довольно эффективных методов построения тестов для неисправностей этого класса и аналитическими трудностями, возникающими при изучении неисправностей более сложного вида.

Для оценки качества тестов используется ряд критериев. Одним из них является длина теста, т.е. число содержащихся в нем входных наборов. Чем меньше длина теста, тем выше (при прочих равных показателях) его качество. Важнейшим показателем качества контролирующего теста служит процент проверяемых им неисправностей (полнота теста). Тест поиска неисправности каждому возможному результату проверки должен ставить в соответствие список подозреваемых неисправностей. Качество теста поиска неисправности наряду с полнотой и длиной определяется и такими параметрами, как глубина поиска (т.е. среднее число подозреваемых неисправностей) и достоверность результатов (т.е. вероятность того, что среди подозреваемых окажется истинная неисправность).

Для комбинационных схем существует ряд хорошо разработанных методов и алгоритмов построения тестов. Это: D алгоритм, метод булевых разностей, методы случайного поиска и др. Рассмотрим один из них.

D-алгоритм построения тестов для комбинационных схем

Идея алгоритма состоит в следующем. Как уже указывалось, чтобы неисправность могла быть обнаружена, значения сигналов в неисправной и исправной схемах должна отличаться хотя бы на одном из внешних выходов. Неисправность должна проявляться на выходе самого неисправного элемента. На выходе всякого другого элемента её последствия могут наблюдаться лишь в том случае, если её наличие

изменяет значение сигналов, поступающих на один или несколько входов этого элемента.

Таким образом, если существует цепочка последовательно соединенных элементов, начинающаяся с проверяемого элемента и оканчивающаяся элементом, соединенным с выходом схемы и если неисправность проявляется на выходе каждого элемента цепочки, при проверке схемы неисправность будет обнаружена.

D-алгоритм сводит задачу построения теста к выбору цепочки элементов (пути) и обеспечению условий, при которых изменение значений сигналов на входах этих элементов, вызванное появлением неисправности, приведет к изменению значений сигналов на их выходах (активизация пути).

Выполнение *D*-алгоритма производится в три этапа.

Этап I. Пусть задана неисправность $\equiv h$ (h=0 или 1), на входе или выходе элемента e_f. Находим условия, при которых неисправность проявляется на выходе элемента e_f. Необходимо, чтобы в исправной схеме значение в проверяемой точке отличалось от h. Если проверяется неисправность на входе элемента e_f то линии (связи), с которой соединен вход, приписывается значение $-\neg h$, а остальным входам e_f – значения, обеспечивающие проявление рассматриваемой неисправности на выходе e_f. Если проверяется выход элемента e_f, то его входам необходимо присвоить значения, обеспечивающие появление на линии f в исправной схеме значения $-\neg h$.

Введем понятие Д-куба. Двум входным наборам A и B. таким, что значения сигнала на выходе элемента для них различны, соответствует Д-куб, определенный следующим образом:

$$d_j = \begin{cases} D, \text{ если } a_j = 1,\ B_j = 0 \\ \overline{D}, \text{ если } a_j = 0,\ B_j = 1 \\ a_j \cap в_j, \text{ в остальных случаях, где} \end{cases}$$

$$a_j \cap в_j = \begin{cases} a_j, \text{ если } в_j = x \text{ или } a_j = в_j \\ в_j, \text{ если } d_j = x, \\ x \quad \text{в остальных случаях } (x \text{ - безразличное состояние}). \end{cases}$$

Сравнивая каждую пару входных наборов, можно получить все множество Д-кубов элемента e_f. Значения координат в Д-кубе представляют собой условия, при которых изменение значений сигналов на некоторых входах (со значениями $D, \overline{D}$) вызовет изменение значения сигнала на выходе. Это делает удобным

использование Д-кубов для построения активизированного пути в схеме.

Например, для элемента 2И (рис. 7) множество Д-кубов имеет

Вид: ($\overline{D}$, $\overline{D}$, $\overline{D}$), ($\overline{D}$,1,*D*), (1, $\overline{D}$, $\overline{D}$), (1,*D*,*D*), (*D*,1,*D*), (*D*,*D*,*D*).

Следуя алгоритму, линии f присваивается значение *D* или $\overline{D}$ по указанному правилу. Совокупность значений на входах проверяемого элемента, обеспечивающая проявление неисправности на его выходе, вместе с соответствующим значением на выходе, называется Д-кубом неисправности. Д-куб неисправности имеет значение *D*($\overline{D}$) только на выходной координате.

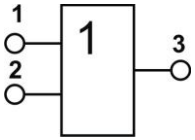

Рис. 7. Элемент 2И

Таблица 8

1	2	3
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Когда существует несколько Д-кубов неисправности можно брать любой из них. Если при выполнении последующих этапов построить тест не удается, то при необходимости этот процесс выполняют до тех пор, пока не будут проверены все Д-кубы неисправности.

Рассмотрим работу Д-алгоритма на примере схемы, изображенной на рис. 8. Требуется проверить неисправность ≡ 1 на связи 3.

На I этапе находим условия, при которых неисправность проявляется на выходе элемента 7 (номера выходных линий и элементов отожествляются). Этой неисправности соответствует единственный Д-куб (1, О, $\overline{D}$).

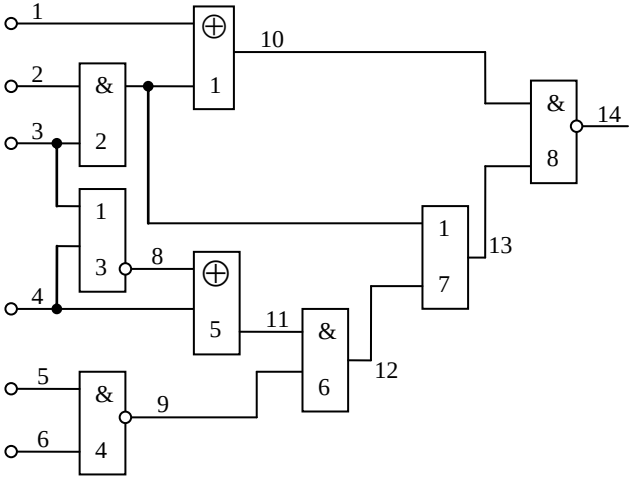

Рис. 8. Комбинационная схема

Этап II. Строится активизированный путь от проверяемого элемента до какого-либо выхода схемы. Если попытка активизировать один путь приводит к противоречию, необходимо рассмотреть следующий путь и так далее до тех пор, пока не удастся завершить активизацию какого-либо пути. Построение пути состоит из последовательности идентичных по выполняемым операциям шагов, на каждом из которых происходит присоединение к активизированному пути одного элемента. Элемент включается в список, когда на его входе появляется значение D или $\overline{D}$ при наличии неопределенности на его выходе и исключается из списка, когда его выходу присваивается определенное значение (а не D или $\overline{D}$) или когда попытка продвижения через этот элемент привела к возникновению противоречия. Элемент из всех возможных выбираем произвольно. Остальным входам выбранного элемента (кроме того, на котором появилось D или $\overline{D}$) присваиваются значения, обеспечивающие появление D или $\overline{D}$ на его выходе.

Процесс продолжается до тех пор, пока на каком-нибудь выходе схемы не появится значение D или $\overline{D}$, или пока ни один путь не даст положительного результата. В последнем случае надо вернуться к I этапу и выбрать следующий Д-куб неисправности.

Для рассматриваемой схемы элементы L_{13} и L_{14} могут быть включены в активизированный путь. Выберем L_{13}. Д-куб для него имеет вид ($\overline{D}$, *O,* $\overline{D}$). Следующим выбираем элемент L_{14}**.** Для него Д-куб ($\overline{D}$, *I,* $\overline{D}$), Таким образом, построен один из вариантов активизированного пути.

Этап III**.** Задача этапа III состоит в обеспечении тех значений сигналов, которые были получены на этапах I и II, т.е. в итоге – в определении набора входных воздействий, гарантирующих выполнение условий активизации. Этот процесс осуществляется путем просмотра схемы от выходов ко входам и присвоения входам каждого элемента значений, обеспечивающих уже имеющиеся на выходе значения.

Работа этапа заканчивается, если на каком-то шаге обнаруживается, что определены все входные воздействия, либо если возможные варианты обеспечения приводят к противоречию. В последнем случае необходимо вернуться к этапу II и попытаться построить другой активизированный путь.

Выполнение этапа III для схемы рис.8 показывает, что обеспечить «*I*», на входе элемента L_{14} нельзя, т.к. на входе *I* должно быть *D*, а это невозможно. Возвращаемся к этапу II. Выбираем для активизированного пути не L_{13}, а L_{10}. Для него имеются 2 Д-куба: (1, $\overline{D}$, *D*) (*O,* $\overline{D}$, $\overline{D}$). Для него Д-куб имеет вид (*D, I,* $\overline{D}$).

Таким образом, построен новый вариант активизированного пути

$$L_7 - L_{10} - L_{14}.$$

Возвращаемся к этапу III**.** Вход L_{13} должен иметь значение «*I*». Входы L_{12} могут иметь значение (*O, X*) или (*X*, 0). Выбираем (*X*, 0). Тогда входы 5 и 6 должны иметь значение «*I*», а выход L_8 и вход 4 могут быть любыми - *X*. На входе 1 должна быть «*I*». Т.е. окончательно наборы входных значений, которые обеспечивают проявление заданной неисправности, имеют вид: (*I, I, O, I, I* , 1) или **(***I, I, O, O, I,* ***I***).

Задание и порядок выполнения работы

1. Изучить алгоритм построения теста для комбинационных схем.
2. Синтезировать заданным методом тест, обнаруживающий указанную неисправность.

3. Проверить правильность полученного теста моделированием исправного и неисправного устройства средствами программы LMBIS.
4. Проанализировать полученные результаты и определить – правильно ли синтезирован тест.
5. Получить у преподавателя вариант задания к лабораторной работе (таблица 7); включающий в себя: устройство комбинационного типа, неисправность, которую требуется обнаружить, метод обнаружения неисправности и контрольный выход.
6. Подготовить исходную информацию для моделирования схемы с помощью ЭВМ.
7. Перенести пакет задания на экран дисплея и произвести расчет.
8. Получить распечатку с результатами расчета.
9. Оформить отчет о проделанной работе.

Требования к отчету

Отчет по работе должен содержать:

1. Сведения об авторе и название работы.
2. Вариант задания к работе.
3. Решение задачи синтеза теста для заданного варианта.
4. Машинную распечатку с результатами расчета
5. Анализ и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое тестовое диагностирование?
2. Что такое тест?
3. Перечислите этапы тестового диагностирования.
4. Как классифицируются тесты?
5. Как классифицируются проверяемые неисправности?
6. С помощью каких критериев оценивается качество теста?
7. Перечислите методы и алгоритмы построения тестов для комбинационных схем.
8. В чем состоит идея Д-алгоритма?
9. Что такое Д-куб? Приведите примеры построения Д-кубов для элементов: И, ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ.

10. Что такое Д-куб неисправности? Чем он отличается от Д-куба?
11. Перечислите и охарактеризуйте этапы Д-алгоритма.
12. Прокомментируйте результаты, полученные в работе,
13. В чем вы видите достоинство и недостаток рассмотренного метода?

Литература: 4, 5, 6, 8.

Варианты заданий к лабораторной работе

Таблица 9

№ варианта	Рисунок 8	Вид неисправности	Метод синтеза тестов
1	1	выход элемента И со входами алгоритм x,y ≡1	Д-алгоритм
2	2	выход элемента и со входами x, Z ≡ l	– · –
3	2	$X_1 \equiv 1$	– · –
4	2	$X_2 \equiv 1$	– · –
5	3	выход элемента ИЛИ со входами x. y ≡ 1	– · –
6	3	выход элемента И со входами x , y ≡ 0	– · –
7	4	$X_2 \equiv 0$	– · –
8	4	$X_3 \equiv 1$	– · –
9	4	$X_4 \equiv 0$	– · –
10	5	выход элемента И со входами X_1 ,$Y_1 \equiv 0$	– · –

Лабораторная работа №5

ГЕНЕРИРОВАНИЕ ТЕСТОВ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ СХЕМ МЕТОДОМ БУЛЕВОЙ ПРОИЗВОДНОЙ

Цель работы – ознакомление с методикой исследования и способом построения тестов на основе метода булевой производной для комбинационных схем.

Продолжительность работы – 2 часа.

Теоретические сведения

Пусть задана комбинационная схема, имеющая один выход, состояние которого описывается как функция от n входных переменных $y = F(x_1, x_2, ..., x_n)$. И пусть на одном из входов схемы x_i локализована неисправность h. Тогда условие проявления неисправности будет иметь вид:

$$X_i = \bar{h}\,. \qquad (5.1)$$

Условие транспортировки неисправности h определяется как обеспечение отличия значений y при наличии и отсутствии неисправности. Это условие может быть записано с помощью функции по модуля 2:

$$F(x_1, x_2, x_i, ..., x_n) \oplus F(x_1, x_2, \overline{x_i}, ..., x_n) = 1 \qquad (5.2)$$

Из булевой алгебры следует, что:

$$\frac{dF(x_1, x_2, x_i, ..., x_n)}{dx_i} = F(x_1, x_2, x_i, ..., x_n) \oplus F(x_1, x_2, \overline{x_i}, ..., x_n) = 1 \qquad (5.3)$$

Эта функция называется булевой разностью функции $F(x)$ относительно x_1.

Для схемы, имеющей m выходов, условие транспортировки неисправности имеет вид:

$$\overset{m}{\underset{J=1}{V}} = \frac{dy_i(x_1,...,x_n)}{dx_i} = 1 \qquad (5.4)$$

При вычислении булевых разностей используется следующая формула, эквивалентная (5.3):

$$\frac{DF(x)}{dx_i} = F(x_1, x_2, x_i = 1,...,x_n) \oplus F(x_1, x_2, x_i = 0,...,x_n). \quad (5.5)$$

Решение системы уравнений (5.1), (5.2), (5.3) дает тест для обнаружения неисправности.

Например, пусть функционирование схемы (рис.9) описывается уравнением $y = x_1 \cdot x_2 \vee \overline{x_1} \cdot x_3$. Требуется найти тест для обнаружения неисправности $h \equiv 1$ на входе x_1.

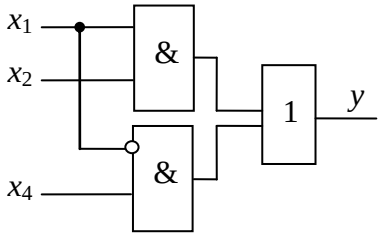

Рис. 9. Комбинационная схема

Из (5.1), (5.2), (5.3) имеем:

$$x_1 = 0$$
$$dy/dx_1 = 1$$
$$y = (x_1 = 1, x_2, x_3) \oplus y(x_1 = 0, x_2, x_3) = 1$$

Решение системы даёт:

$$x_1 = 0$$
$$x_2 = 1$$
$$x_2 \oplus x_3 = 1$$

Или

$$x_1 = 0$$
$$x_2 = 1$$
$$x_2 x_3 \vee \overline{x_2} x_3$$

откуда следует, что тест имеет вид (0, 1, 0).

Процедура получения теста для неисправностей, локализованных в произвольных точках схемы, приводит к необходимости рассмотрения зависимости логической функции от значения сигнала в локализированной точке схемы.

Для этой зависимости составляется уравнение транспортировки, решение которого при соблюдении условий проявления неисправности дает тест, обнаруживающий заданную неисправность.

Задание и порядок выполнения работы

1. Изучить алгоритм построения теста для комбинационных схем.
2. Синтезировать заданным методом тест, обнаруживающий указанную неисправность.
3. Проверить правильность полученного теста моделированием исправного и неисправного устройства средствами программы «TESTGEN».
4. Проанализировать полученные результаты и определить, правильно ли синтезирован тест.
5. Получить у преподавателя вариант задания к лабораторной работе, включающий в себя: устройство комбинационного типа; неисправность, которую требуется обнаружить; метод обнаружения неисправности; контрольный выход.
6. Подготовить исходную информацию для моделирования схемы с помощью компьютера.
7. Получить распечатку с результатами расчета.
8. Оформить отчет о проделанной работе.

Требования к отчету

Отчет по работе должен содержать:

1. Сведения об авторе и название работы.
2. Вариант задания к работе.
3. Решение задачи синтеза теста для заданного варианта.
4. Распечатку с результатами расчета, анализ и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое тестовое диагностирование?
2. Что такое тест?
3. Как классифицируются тесты?
4. Как классифицируются проверяемые неисправности?
5. Перечислите этапы тестового диагностирования.
6. С помощью, каких критериев оценивается качество теста?
7. Перечислите методы и алгоритмы построения тестов для комбинационных схем.
8. В чем состоит метод булевых разностей?
9. Прокомментируйте результаты, полученные в работе.
10. В чем вы видите достоинство и недостаток D-алгоритма и метода булевых разностей?

Варианты заданий к лабораторной работе №5

Вариант 1. Требуется найти тест для обнаружения неисправности $x_1/0$ и $x_1/1$ для схемы на рис. 10, реализующей функцию $F(x) = x_1 \cdot x_2 + x_3$.

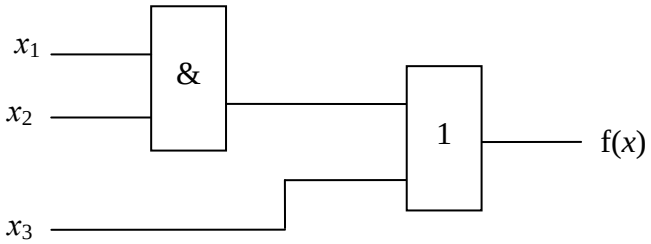

Рис. 10. Комбинационная схема реализующая функцию $F(x) = x_1 \cdot x_2 + x_3$

Вариант 2. Дана схема (рис. 11), реализующая функцию $F(x) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \overline{x_2}$. Найти тесты для неисправностей $x_2/0$ и $x_2/1$. Воспользоваться формулой:

$$dF(x)/dx = F(x_1, x_2, ..., 0, ..., x_n) \oplus F(x_1, x_2, ..., 1, ..., x_n).$$

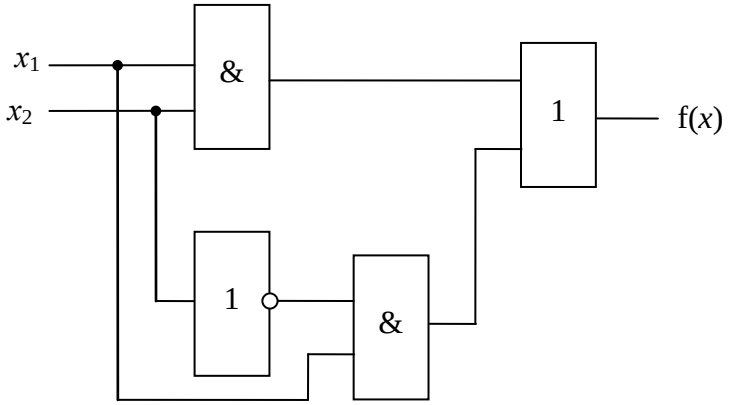

Рис. 11. Комбинационная схема реализующая функцию $F(x) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \overline{x_2}$

Вариант 3. Дана схема (рис.12). Найти тест неисправности $y_6/0$.

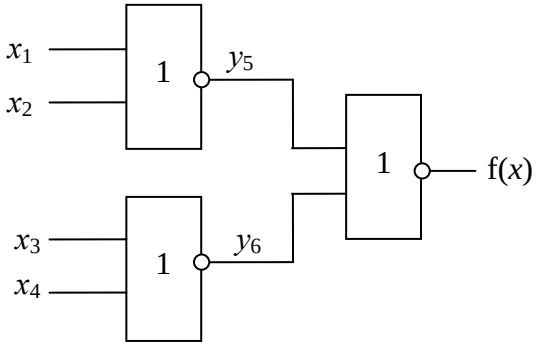

Рис. 12. Комбинационная схема

Вариант 4. Дана цифровая схема (рис.13), реализующая функцию $F(x) = \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3$. Найти булевы производные функции $F(x)$ по x_1 для путей: $P_1 = \{x_1, y_1, y_4\}; P_2 = \{x_1, y_3, y_5\}$. Вычислить тест неисправностей линий 1-8.

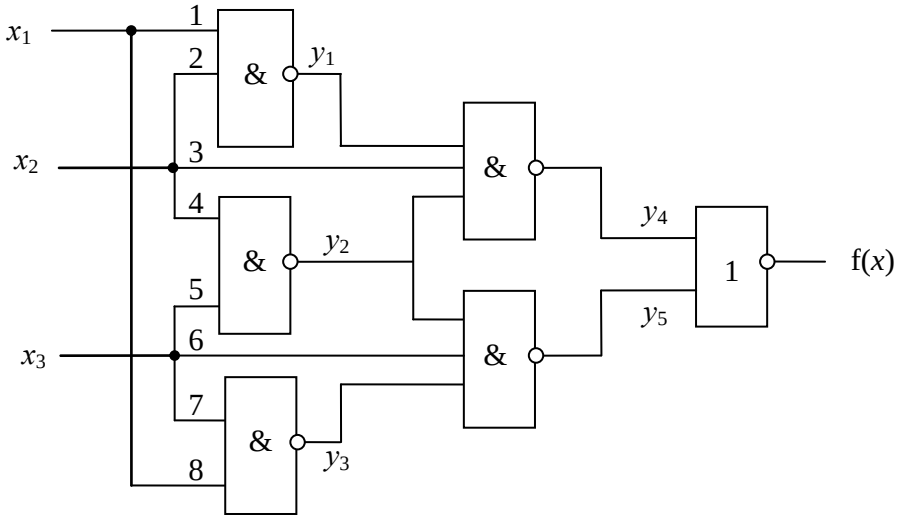

Рис. 13. Комбинационная схема реализующая функцию
$F(x) = \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3$

Литература: 4, 6, 7, 8.

Лабораторная работа №6

СИНТЕЗ ТЕСТОВ МЕТОДОМ ТАБЛИЦ ИСТИННОСТИ

Цель работы – ознакомление и приобретение практических навыков синтеза тестов методом таблиц истинности.

Постановка задачи: освоить методику построения теста для логических схем ЦУ с использованием метода таблиц истинности.

Продолжительность работы – 2 часа.

Теоретические сведения

Для обнаружения дефектов и неисправностей цифровые устройства и её отдельные элементы подвергаются тестированию. Тестирование составляет основу процессов диагностирования и профилактических испытаний. Среди детерминированных методов генерации тестов для логических схем можно выделить наиболее простой – метод таблиц истинности.

В методе таблиц истинности этап вычисления тестов отсутствует, так как тестовые наборы представляют собой множество 2^n входных наборов схемы, где n - число входов. Общее число одиночных константных неисправностей в схеме, для которой синтезируются тесты, зависит от числа связей и равно $2m$, где m - число связей. Однако список рассматриваемых неисправностей может быть значительно сокращен при учете эквивалентных неисправностей.

Эквивалентными называются неисправности, которые дают одни и те же результаты на выходе схемы, т.е. не различаемые между собой неисправности. Предварительное выделение классов эквивалентных неисправностей может существенно сократить число рассматриваемых неисправностей и снизить трудоемкость генерирования тестов и их моделирования.

После определения классов неисправностей в методе таблиц истинности выполняется моделирование (для комбинационных схем – двоичное), т.е. определение неисправностей, обнаруживаемых каждым тестовым набором.

Затем находится минимальное покрытие таблицы – результата моделирования и, таким образом, минимальный тест схемы. Поясним сказанное примером вычисления для схемы, показанной на рис. 14. Моделирование неисправностей на входных наборах T_0 – T_7 дает

результат, показанный в таблице 12, в виде таблицы функций различения (ТФР).

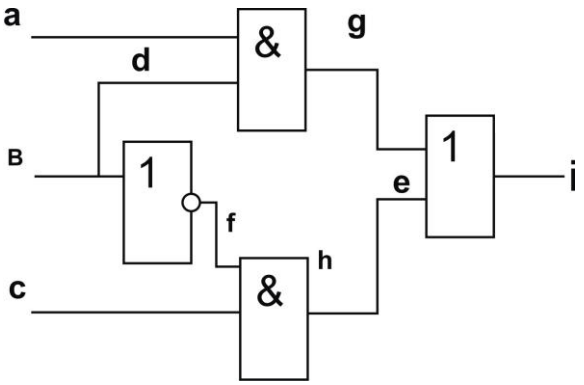

Рис 14. Комбинационная схема

Классы эквивалентных неисправностей для данной схемы даны в таблице 10. Таблица истинности – таблица 11. Покрытие ТФР обеспечивают наборы T_1, T_3, T_4 и T_6 образующие полный тест схемы.

Таблица 10

Класс	Неисправность
1	A/ 0,d/ 0,g/ 0
2	A/1
3	B/O
4	B/1
5	C/ l.f/ 0,e/ 1,h/ 0
6	C/1
7	D/1
8	e/ l,f/ l
9	p/ l,h/ l,i/ l
10	i/0

Таблица 11

Набор	а	в	с	i
T_0	0	0	0	0
T_1	1	0	0	0
T_2	0	1	0	0
T_3	1	1	0	1
T_4	0	0	1	1
T_5	1	0	1	1
T_6	0	1	1	0
T_7	1	1	1	1

Таблица 12

Набо-ры	Классы неисправностей									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T_0						1			1	
T_1				1		1	1		1	
T_2		1							1	
T_3	1		1							1
T_4				1	1					1
T_5					1					1
T_6		1	1					1	1	
T_7	1									1

Недостатком этого метода является то, что с возрастанием числа входов он становится неприменимым из-за большого числа входных наборов.

Задание и порядок выполнения работы

1. Изучить алгоритм синтеза теста для комбинационных схем.
2. Задать классы эквивалентных неисправностей для конкретной схемы занести в таблицу.
3. Привести таблицы истинности для заданной схемы.
4. Синтезировать заданным методом тест, обнаруживающий указанные неисправности.
5. Проверить правильность полученного теста моделированием исправного и неисправного устройства. Моделировать неисправности на входных наборах, получить ТФР.
6. Проанализировать полученные результаты и определить синтезированный тест.
7. Получить у преподавателя вариант задания к лабораторной работе.
8. Оформить отчет о проделанной работе.

Требования к отчету

Отчет о работе должен содержать:

1. Сведения об авторе и название работы.
2. Вариант задания к работе.
3. Решение задачи синтеза теста заданного варианта.
4. Анализ и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит идея метода таблиц истинности?
2. Что такое тест?
3. Какие неисправности называются эквивалентными?
4. Как определить список неисправностей?
5. Какой вид моделирования используется для определения работоспособности комбинационных схем?
6. С помощью каких критериев оценивается качество теста?
7. Каким образом можно получить таблицы функций различения (ТФР)?
8. Перечислите основные этапы синтеза тестов методом таблиц истинности.
9. Прокомментируйте результаты, полученные в работе.
10. В чем недостаток метода таблиц истинности?

Варианты задания к лабораторной работе

Вариант 1. Синтезировать тесты неисправностей а/0, в/1 для схемы, приведенной на рис. 15.

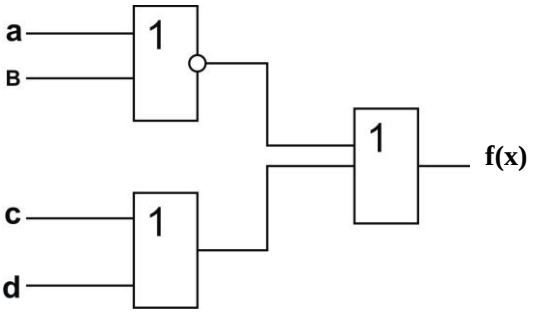

Рис. 15. Комбинационная схема

Вариант 2. Дана схема (рис. 14). Построить таблицы функций различения (ТФР), моделируя неисправности в/0, с/1 на входных наборах T_0 - T_7.

Вариант 3. Определить классы эквивалентных неисправностей для схемы, приведенной на рис. 14. Дать минимальное покрытие таблицы, синтезировать минимальный тест схемы.

Литература: 2, 3, 4, 5.

Лабораторная работа №7

ОБНАРУЖЕНИЕ И КОНТРОЛЬ НЕИСПРАВНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ЭКВИВАЛЕНТНОЙ НОРМАЛЬНОЙ ФОРМЫ

Цель работы – ознакомление с методикой генерации тестов и приобретение практических навыков в решении задач структурного контроля цифровых устройств.

Постановка задачи: освоить методику генерирования тестов для комбинационных схем ЦУ с использованием метода эквивалентной нормальной формы (ЭНФ).

Продолжительность работы – 2 часа.

Теоретические сведения

Этот метод основан на представлении булевой функции в виде эквивалентной-нормальной формы (ЭНФ), описывающей конкретную реализацию схемы. Поскольку ЭНФ представляет собой сумму логических произведений, она соответствует гипотетической схеме И-ИЛИ. Каждой схеме И соответствует один терм ЭНФ. Из такого представления ЭНФ становится очевидным, что для выявления неисправностей, связанных с переменной X,, входящих в какой-либо терм ЭНФ, необходимо выполнение следующих условий:

1) равенство нулю всех термов, кроме содержащего X_i;
2) равенство единицы всех переменных терма, в который входит тестируемая переменная X_i.

Выполнение этих условий обеспечивает тождественное равенство $f \equiv X_i$ и, как следствие этого, выявление неисправностей, связанных с этой переменной, так как неисправность переменной приведет к изменению сигнала на выходе схемы.

Эквивалентная нормальная форма, как и обычная нормальная, вычисляется методом подставки, с той лишь разницей, что избыточные термы не исключаются, так как они характеризуют конкретную реализацию схемы.

При построении тестов важно не только обеспечить проверку входных переменных, но и всех путей, т.е. необходимо обеспечить проверку одной и той же переменной в разных термах, которым соответствуют разные пути в схеме.

Задание и порядок выполнения работы

1. Изучить алгоритм построения теста для комбинационных схем методом ЭНФ.
2. Синтезировать заданным методом тест, обнаруживающий указанную неисправность.
3. Проверить правильность полученного теста моделированием исправного и неисправного устройства.
4. Проанализировать полученные результаты и определить - правильно ли синтезирован тест.
5. Получить у преподавателя вариант задания к лабораторной работе, включающий в себя: устройство комбинационного типа, неисправность, которую требуется обнаружить, метод обнаружения неисправности и контрольный выход.
6. Оформить отчет о проделанной работе.

Требования к отчету

1. Сведения об авторе и название работы.
2. Вариант задания к работе.
3. Решение задачи синтеза теста для заданного варианта.
4. Анализ и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите последовательность построения тестов с помощью ЭНФ.
2. Что представляет собой ЭНФ?
3. Какие условия необходимы для выявления в ЦУ неисправностей типа h0; h1.
4. С помощью каких критериев оценивается качество синтезированного теста?
5. Для чего необходимо моделирование исправной и неисправной схемы ЦУ?
6. Что понимается под тестированием цифрового устройства?
7. Что понимается под полнотой контроля ЦУ?
8. Какой путь в цифровой схеме называется чувствительным?
9. В чем достоинство и недостаток рассмотренного метода?

Варианты заданий к лабораторной работе

Вариант 1. Дана схема (см. рис. 16). Найти тесты неисправностей a/0, a/1, в/0 и в/1 методом ЭНФ.

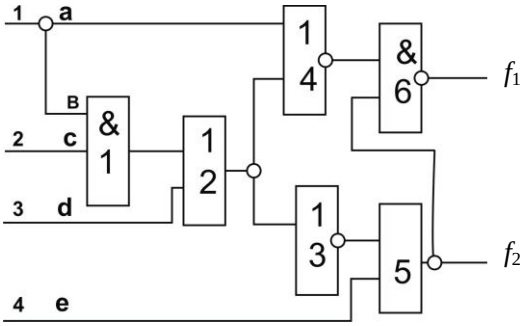

Рис. 16. Комбинационная схема

Вариант 2. Дана схема (см.рис.15). Найти тесты неисправностей d/1, d/0, e/0 и e/1 методом ЭНФ.

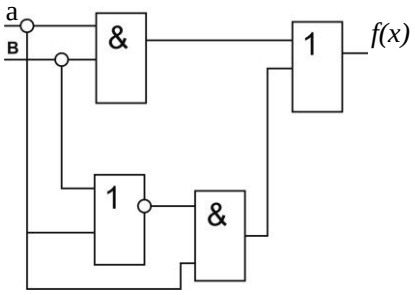

Рис. 17. Комбинационная схема

Вариант 3. На рис. 17 приведена комбинационная схема, состоящая из элементов 2И, 2ИЛИ-НЕ, 2И и 2ИЛИ. Сгенерировать тесты для неисправностей a/0, a/1 методом ЭНФ.

Вариант 4. Дана схема (см.рис. 11). Найти тесты неисправностей в/0, в/1 методом ЭНФ.

Литература: 4, 6, 7, 8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иыуду К.А. Надежность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем.
2. Расулова С.С. Надежность вычислительных машин и систем. Учебное пособие. ТГТУ, 1995.
3. Расулова С.С., Хайдаров Ш.А. Обеспечение и оценка надежности вычислительных машин и систем. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Надежность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем». ТГТУ, 1993.
4. Расулова С.С., Гаибназаров С. Контроль и диагностика вычислительных и микропроцессорных систем. Учебное пособие, Ташкент ТГТУ, 1995.
5. Шевкопляс Б.В. Контроль, наладка и тестирование микро-ЭВМ. М.: Высшая школа, 1991.
6. Расулова С.С., Рашидов А.А. Методы тестирования цифровых устройств: методические указания к лабораторным работам. ТГТУ, 2003.
7. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 480 с.
8. Ярмолик В.Н. Контроль и диагностика цифровых узлов ЭВМ. Минск: Наука и техника. 1994. – 240 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу
«Надежность технических средств»
для студентов направления
5811300-«Сервис» (электронной и компьютерной техники)

Обсуждена
на заседании кафедры
протокол №11
от 23.01.2008 г.

Рассмотрена и рекомендована
к изданию на заседании
научно-методического
Совета ТУИТ
протокол №7
от 20.03.2008 г.

Составители:	Расулова С.С. Каххаров А.А.
Ответственный редактор	Мусаев М.М.
Корректор	Доспанова Д.У.

Подписано в печать __.__.2008 Формат 60×84 $^{1}/_{16}$
Гарнитура «Times New Roman» объем –
Тираж – 100 Заказ №

Подготовлено к изданию и отпечатано в издательско-полиграфическом центре «ALOQACHI» при Ташкентском университете информационных технологий. 700084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108.