

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского
"Харьковский авиационный институт"

М.Ф. Бабаков, П.Е. Ельцов, М.И. Луханин

**МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Учебное пособие по лабораторному практикуму

Харьков «ХАИ» 2003

УДК 621.396.6

Методы технического диагностирования электронных средств /М.Ф. Бабаков, П.Е. Ельцов, М.И. Луханин. - Учеб. пособие по лабораторному практикуму. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2003. – 69 с.

Описаны лабораторные работы по теме «Техническое диагностирование электронных средств», входящей в программу подготовки специалистов и магистров специальностей «Производство электронных средств» и «Биотехнические и медицинские аппараты и системы». Изложены методы технического диагностирования на основе логических диагностических моделей.

Приведены необходимые теоретические сведения, постановка задач, методика выполнения работ, необходимые справочные данные.

Для студентов факультета радиотехнических систем летательных аппаратов.

Ил. 22. Табл. 7 . Библиогр.: 8 назв.

Рецензенты: канд. техн. наук В.И. Луценко,
 канд. техн. наук С.И. Хоменко

© Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
"Харьковский авиационный институт ", 2003 г.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с ДСТУ 2389-94 техническое диагностирование представляет собой процесс определения технического состояния объекта диагностирования (ОД) с определенной точностью. Объектом технического диагностирования (контроля технического состояния) называют изделие и (или) его составные части, подлежащие диагностированию (контролю).

Техническое состояние ОД – это состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды значениями параметров, установленных технической документацией на объект. Различают следующие виды технического состояния: исправное и неисправное, работоспособное и неработоспособное, правильное и неправильное функционирование.

Из исправного состояния в другие ОД переходит из-за возникающих в нем дефектов (повреждений, неисправностей, отказов). Задача диагностирования состоит в том, чтобы своевременно обнаружить дефекты (контроль технического состояния), найти места и причины их возникновения, предвосхитить возможные дефекты (прогнозирование технического состояния).

Чтобы убедиться в том, что объект исправен, проводят проверку исправности. На этапе производства такая проверка позволяет узнать, содержит ли созданный объект дефектные компоненты (детали, элементы, блоки, узлы и т.п.), а их монтаж ошибки. Проверка исправности является основной деятельностью производственных отделов технического контроля. На этапе эксплуатации проверяют: в условиях ремонта – все ли имевшиеся в объекте неисправности

устранены; в условиях хранения – не возникли ли какие-либо неисправности за время хранения.

При профилактике объекта перед применением его по назначению или после такого применения в ряде случаев необходимо установить, в состоянии ли объект выполнить все основные или требуемые функции, предусмотренные его рабочим алгоритмом функционирования, т.е. проверить его работоспособность. Проверка работоспособности может быть менее полной, чем исправности, т.е. после проверки могут остаться необнаруженными неисправности, которые препятствуют применению объекта по назначению. Например, резервный объект может быть работоспособным, несмотря на наличие неисправностей в резервных компонентах или связях.

На этапе эксплуатации в процессе применения объекта по назначению часто необходимо проверить правильность функционирования, т.е. выявить неисправности объекта, нарушающие его нормальную работу в текущий момент реального времени.

Проверка правильности функционирования является менее полной, чем проверка работоспособности, так как в правильно функционирующем объекте возможны неисправности, которые могут быть причиной неправильной работы объекта в других режимах, тогда как работоспособный объект правильно функционирует во всех режимах.

Важной характеристикой процедур проверки исправности, работоспособности или правильности функционирования является полнота контроля, задающая долю гарантированно обнаруживаемых дефектов относительно всех заданных или рассматриваемых дефектов.

Поиск дефекта необходим для выявления и замены дефектных

компонентов или связей объекта, устранения ошибок монтажа и т.п. После устранения дефектов объект становится исправным, работоспособным или правильно функционирующим. Поиск дефектов является существенной составляющей деятельности служб наладки на этапе производства и ремонтных служб на этапе эксплуатации. Эта задача является определяющей для обеспечения скользящего резервирования в объекте при его применении.

Характеристикой поиска дефектов является глубина поиска, задаваемая указанием составной части объекта, с точностью, до которой определяется место дефекта.

Контроль работоспособности и поиск места отказа являются важнейшими задачами диагностирования электронных средств. Именно им посвящены лабораторные работы, охватываемые данным учебным пособием.

В соответствии с современными требованиями обеспечения надежности техники (например, ДСТУ 2861-94, ДСТУ 2863-94) любое создаваемое электронное средство должно быть диагностически обеспечено. Под диагностическим обеспечением понимается комплекс взаимосвязанных правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для осуществления диагностирования на всех этапах жизненного цикла объекта. При разработке диагностического обеспечения необходимо:

- изучить (исследовать) ОД, т.е. принципы его работы, структуру, конструкцию, выполняемые функции и др.;
- указать перечень или классы возможных отказов (состояний) ОД, условия или признаки их проявления, передачи (транспортирования) признаков в контрольные точки и их обнаружение в этих точках; для малоизученных ОД может потребоваться фи-

зическое моделирование дефектов;

- выбрать известную или построить новую математическую модель ОД и соответствующие ей модели возможных отказов;
- выбрать метод и составить алгоритм диагностирования, анализируя модель ОД формализованным путем;
- оценить качество полученного алгоритма диагностирования;
- выбрать из известных или разработать новые подходящие средства диагностирования;
- оценить характеристики выбранных или разработанных средств, например, их объем, массу, безотказность, достоверность работы;
- исследовать, в том числе экспериментально, систему диагностирования в целом.

Рассматриваемые в данном учебном пособии лабораторные работы в определенной мере соответствуют указанному выше перечню вопросов, образуя взаимосвязанную последовательность. При этом в качестве модели ОД используется наиболее распространенная в инженерной практике логическая модель.

Материал лабораторных работ может стать основой для выполнения раздела дипломного проекта «Диагностического обеспечения объекта проектирования (эксплуатации, производства)» по специальностям направления подготовки «Электронные аппараты» и «Радиотехника».

Лабораторная работа № 1

АНАЛИЗ ЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Цель работы:

- изучить принципы построения логической модели объекта диагностирования;
- освоить методики выбора проверок объекта для контроля работоспособности и поиска места отказа;
- получить навыки моделирования объекта диагностирования.

Постановка задачи

Одна из основных задач технической диагностики – исследование и классификация свойств реальных объектов и их отказов в целях выбора и построения математических моделей объектов диагностирования, отражающих все возможные или интересующие исследователя технические состояния последних. Только на основе правильно построенной модели объекта диагностирования решаются задачи технической диагностики (ТД): определение оптимальной процедуры и минимального теста для оценки технического состояния объекта диагностирования.

Математической моделью объекта диагностирования называется формальное описание объекта диагностирования и его поведение во всех технических состояниях. Формальное описание объекта может быть представлено в аналитической, табличной, векторной, графической или другой форме и задано в явном или неявном виде.

Явная модель объекта технического диагностирования включает в себя совокупность формальных описаний всех необходимых технических состояний объекта.

Неявная модель объекта технического диагностирования содержит формальное описание одного технического состояния и правила получения всех других технических состояний на основе заданного. Чаще всего исправное состояние объекта является заданной моделью, по которой получают все остальные модели тех-

нического состояния объекта.

Основное требование к моделям заключается в том, что они должны с требуемой точностью описывать свойства объекта диагностирования. Объект диагностирования рассматривается как преобразователь величин $\vec{Y}$, которые вводятся в объект, в другие величины $\vec{Z}$, которые являются реакциями объекта. Кроме того, объект характеризуется внутренними координатами $\vec{X}$, связывающими входы и выходы отдельных его элементов. Соответствие между входными и выходными величинами устанавливают вводя понятие оператора объекта диагностирования $A(\vec{X})$ как

$$\vec{Z} = A(\vec{X}) \cdot \vec{Y}. \quad (1.1)$$

В качестве модели исправного объекта диагностирования принимается оператор $A(\vec{X})$, параметры которого находятся в области допустимых значений. Если хотя бы один параметр выходит за пределы заданной области допустимых значений, то объект диагностирования считается неисправным.

Если объект диагностирования имеет конечное число отказов, то при наличии отказа s_i -го вида один или несколько параметров оператора A выходят за пределы области допустимых значений, оператор принимает вид $A^{(i)}$, а модель объекта диагностирования выразится так:

$$\vec{Z}^{(i)} = A^{(i)} \cdot \vec{Y}. \quad (1.2)$$

Если возможно получение совокупностей выражений типа (1.2) для всех отказов, то эта совокупность совместно с выражением (1.2) образует явную модель объекта диагностирования. Выбор конкретной формы оператора зависит от описания физических свойств объекта и определяется условиями задачи диагностирования.

В зависимости от вида оператора A объекты диагностирования подразделяют на непрерывные, дискретные и гибридные. У непрерывного объекта входные $\vec{Y}$ и выходные $\vec{Z}$ величины принимают значения из континуальных множеств, у дискретного – из конечных множеств, у гибридного входные континуальные величины преобразуются в конечные выходные.

Объект диагностирования имеет точки контроля, которые позволяют наблюдать не только за воздействиями $\vec{Y}$ и реакциями $\vec{Z}$, но и за внутренними координатами $\vec{X}$. Каждая элементарная проверка π_j характеризуется значениями y_j и реакциями R_j объекта или его элемента, охваченного проверкой.

Тогда реакция на элементарную проверку π_j в зависимости от i -го технического состояния будет

$$R_j^{(i)} = A_j^{(i)} \cdot y_j, \quad (1.3)$$

где $A_j^{(i)}$ – оператор объекта диагностирования или его элемента с отказом s_i , охваченного проверкой π_j .

Вместо выражения (1.3) применяют такие записи:

$$R_j = A_j(\pi_j) \text{ – для исправного ОД;} \quad (1.4)$$

$$R_j^{(i)} = A_j^{(i)}(\pi_j) \text{ – для ОД с отказами } s_i. \quad (1.5)$$

Если выражения (1.4), (1.5) заданы для всей совокупности проверок из множества $\{\pi_j\}$ и отказов из рассматриваемого множества отказов $\{s_i\}$, то считают, что задана явная модель ОД. Если имеются зависимости (1.4) и правило, позволяющее из множеств $\{\pi_j\}$ и $\{s_i\}$ получить совокупность выражений (1.5), то говорят, что задана неявная модель.

Наиболее простой явной математической моделью является совокупность зависимостей (1.4), (1.5), представленная в табл. 1.1, где s_0 соответствует исправному состоянию ОД, s_i – i -му неисправному, строки – всевозможным состояни-

Таблица 1.1
Матрица состояний ОД

$\pi_j \backslash s_i$	π_1	...	π_j	...	π_m
s_0	R_1		R_j		R_m
$\vdots$					
s_i	$R_1^{(i)}$		$R_j^{(i)}$		$R_m^{(i)}$
$\vdots$					
s_n	$R_1^{(n)}$		$R_j^{(n)}$		$R_m^{(n)}$

ям ОД, столбцы – возможным проверкам ОД. Данная таблица называется таблицей состояний ОД. Она эквивалентна системе выражений (1.4) и (1.5).

Анализ таблицы дает возможность сформулировать свойства множества проверок $\Pi = \{\pi_j\}$ для решения задач ТД.

Первое свойство: множество проверок Π обнаружит любое неисправное состояние s_i ОД, если строка s_0 отличается от каждой из остальных строк. Второе свойство: множество проверок Π различит все состояния s_i , $i \neq 0$, если все соответствующие строки попарно различимы.

Таблица состояний позволяет оптимизировать (в частном случае минимизировать) множество Π элементарных проверок как для контроля исправности (работоспособности), так и для поиска места дефекта.

Во многих случаях техническое состояние ОД можно оценить по принципу «в норме – не в норме». При этом используют модели логического типа. Именно такая модель является объектом рассмотрения и анализа в данной работе.

Построение логической модели объекта диагностирования

Исходными данными для построения логической модели ОД являются: структурные, функциональные и принципиальные схемы ОД; системы алгебраических и дифференциальных уравнений; причинно-следственные связи между параметрами ОД и его выходными реакциями.

Наиболее часто логическая модель электронного аппарата (ЭА) строится с учетом конструктивной реализации ОД с точностью до принятого элемента замены при отказах. При этом каждый входной (выходной) сигнал блока B , характеризуемый несколькими параметрами, представляют несколькими входами (выходами), число которых равно числу этих параметров. Например, если для блока B внешний сигнал y характеризуется двумя параметрами, внутреннее состояние – тремя параметрами, а выходной сигнал z – двумя па-

раметрами (рис. 1.1, а), то в логической модели блок B будет иметь пять входов и два выхода (рис. 1.1, б). Затем каждый блок B , имеющий k выходов, заменяют k блоками, каждый из которых имеет один выход и существенные для данного выхода входы (рис. 1.1, в). Такие блоки будут в дальнейшем называться первичными функциональными элементами (ПФЭ) логической модели (ЛМ).

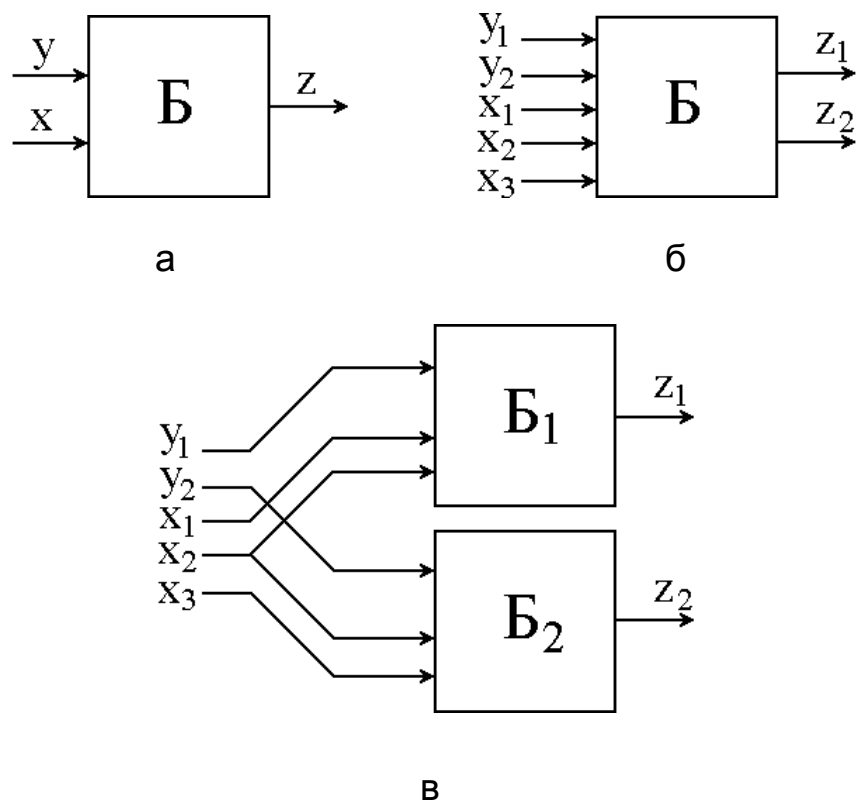


Рис. 1.1

В результате такого построения и объединения выходов ПФЭ со входами других ПФЭ логическая модель принимает вид, представленный в качестве примера на рис. 1.2.

Предположим следующее:

1. Для параметров входов и выходов ПФЭ установлены области их допустимых значений $D_z = [z_H, z_B]$, где z_H, z_B – нижнее и верхнее допустимые значения.
2. Отдельные ПФЭ могут находиться только в двух взаимоисключающих состояниях: исправном (рабо-

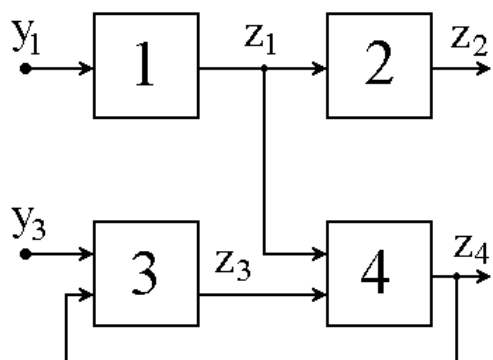


Рис. 1.2

тоспособном) и неисправном (неработоспособном).

3. Связи между ПФЭ – абсолютно надежные (реальные физические связи либо относят к соответствующим ПФЭ, либо выделяют в отдельные ПФЭ).
4. Для того, чтобы выход ПФЭ z находился в допустимой области D , необходимо, чтобы все его входы были допустимыми, а сам ПФЭ исправным (работоспособным).

Расчленение многовыходовых блоков на одновыходовые ПФЭ, вообще говоря, не обязательно, если ввести в рассмотрение виртуальный обобщенный выходной параметр, считающийся находящимся в пределах поля допуска при допустимых состояниях в допуске всех составляющих его физических параметров.

При работе с ЛМ предполагают, что на входы ОД поступают входные воздействия y_j с допустимыми воздействиями входных параметров. Поэтому возможные элементарные проверки π_i совпадают с контролем выходов z_i ПФЭ.

Если ОД многорежимный, т.е. предназначен для выполнения нескольких алгоритмов функционирования, в которых участвуют разные совокупности блоков и связей, то каждый режим (алгоритм) следует рассматривать отдельно.

Для построения ЛМ можно использовать также анализ причинно-следственных связей в ОД, когда имеется информация о влиянии одного параметра на другой или о зависимости одного параметра от другого.

Графом причинно-следственных связей называют ориентированный граф, вершинами которого являются параметры, а дуги отражают причинно-следственные связи между вершинами. Направление дуги соответствует направлению перемещения от причины к следствию.

Логическая модель ОД может трактоваться как граф причинно-следственных связей между входными, внутренними и выходными параметрами ОД. При этом вершины графа соответствуют входным параметрам объекта и выходным параметрам блоков модели, а дуги – связям блоков между собой и с внешними входами объекта.

Строят граф таким образом. Определяют выходные параметры блоков и параметры входных сигналов, которые изображают вершинами графа. Если получают, что выход z_i непосредственно влияет на выход z_j , то между i -й и j -й вершинами устанавливают направленную дугу. Такой граф, соответствующий приведенной выше ЛМ, изображен на рис. 1.3.

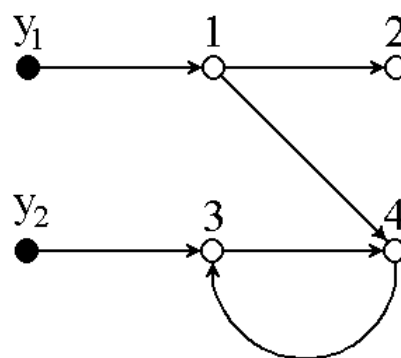


Рис. 1.3

Этому графу соответствует матрица непосредственных связей, представленная в табл. 1.2, где номера i, j соответствуют выходам z_i, z_j ЛМ; 1 – наличию непосредственных связей между выходами (по диагонали всегда стоят единицы); 0 – отсутствию непосредственных связей между ними.

Таблица 1.2
Матрица непосредственных связей

$j \quad i$	1	2	3	4
1	1	1	0	1
2	0	1	0	0
3	0	0	1	1
4	0	0	1	1

Как граф причинно-следственных связей, так и матрица непосредственных связей могут быть определены путем эксперимента с макетом ОД.

Первичный анализ логической модели

Поскольку каждый выход z_i ЛМ может находиться или не находиться в допустимой области D_i , то для описания этих ситуаций используют двоичные логические переменные R_i , равные 0 или 1. Устанавливаем следующее соответствие:

$$R_i = \begin{cases} 0, & \text{если } z_i \in D_i; \\ 1, & \text{если } z_i \notin D_i. \end{cases}$$

Возможно и противоположное соответствие. Важно договорить-

ся об определенном из них и выдержать его в дальнейшем.

После этого строят матрицу состояний ОД по следующему принципу.

Определяют возможные сочетания ОД: исправное (работоспособное), одиночные отказы отдельных ПФЭ, совместные отказы. Эти состояния определяют строки матрицы. Столбцы же ее соответствуют выходам z_j ЛМ (или же элементарным проверкам π_j). В результате получается матрица $R = \|R_{ij}\|$, $i = \overline{1, s}$, $j = \overline{1, m}$, где s – количество состояний ОД, m – количество ПФЭ (выходов) ЛМ с двоичными строками $\|R_{i1}, \dots, R_{ij}, \dots, R_{im}\|$, которые представляют собой двоичные коды соответствующих состояний ОД. Полное число строк равно 2^m . Очевидно, что строка, соответствующая исправному (работоспособному) состоянию ОД, будет иметь все нули и ее можно исключить из рассмотрения.

В большинстве случаев имеют место независимые, одиночные отказы отдельных блоков ОД. Тогда число строк матрицы состояний s будет равно числу m ПФЭ (выходов). Именно эта ситуация и рассматривается в работе. Такую квадратную матрицу состояний будем называть матрицей отказов (МО).

Для рассматриваемого примера логической модели МО представлена в табл. 1.3.

Таблица 1.3
Логическая модель матрицы отказов

Состояния ОД	Состояния выходов			
	z_1	z_2	z_3	z_4
Отказ ПФЭ ₁	1	1	1	1
Отказ ПФЭ ₂	0	1	0	0
Отказ ПФЭ ₃	0	0	1	1
Отказ ПФЭ ₄	0	0	1	1

При построении МО можно использовать ЛМ или граф причинно-следственных связей. Для заполнения i -й строки МО фиксируют i -ю вершину графа (i -й ПФЭ ЛМ) и, двигаясь по направлению стрелок, отмечают в строке единицами все попадающиеся на пути вершины. Аналогично для построения МО

можно использовать и матрицу непосредственных связей.

По МО R строят матрицу кодов проверок Π . Она представляет собой транспонированную матрицу R с инвертированными элементами R_{ij} . Строка π_i матрицы Π называется кодом соответствующей проверки, состоящей в допусковом контроле параметра z_j . В коде проверки 0 означает, что соответствующий ПФЭ данной проверкой проверяется, а 1 – что не проверяется. Для функциональной модели ФМ (см. рис. 1.2) матрица Π имеет вид, представленный в табл. 1.4.

По коду проверок можно установить множества M_{Π} проверяемых и M_H не проверяемых данной проверкой ПФЭ.

Для рассматриваемого примера эти множества будут такими:

$$M_{\Pi 1} = \{1\}; M_{H1} = \{2,3,4\};$$

$$M_{\Pi 2} = \{1,2\}; M_{H2} = \{3,4\};$$

$$M_{\Pi 3} = \{1,3,4\}; M_{H3} = \{2\}.$$

Таблица 1.4
Матрица кодов проверок

Проверка	Код проверки			
Π_1	0	1	1	1
Π_2	0	0	1	1
Π_3	0	1	0	0
Π_4	0	1	0	0

Необходимо обратить внимание на то, что наличие в ФМ обратных связей приводит к идентичности соответствующих кодов состояний в МО и кодов проверок. Это означает, что различить эти состояния методами параметрического допускового контроля при допустимых входных тестовых (рабочих) воздействиях невозможно. Поэтому для целей поиска места отказа от обратных связей (ОС) необходимо избавиться. При этом возможны следующие ситуации:

1. Если разрыв цепи ОС недопустим, то элементы, охваченные ОС, можно объединить в один элемент и находить место отказа с точностью до этого нового элемента, а внутри его отыскивать место отказа другим методом, например, методом количественных контрольных замеров.
2. Разрыв ОС допустим, и диагностирование ОД можно осуществлять в измененном виде без сигнала ОС.
3. Разрыв ОС допустим, но для диагностирования ОД необходимо присутствие сигнала ОС, который можно воспроизвести от спе-

циального внешнего генератора.

Для последней ситуации ФМ рассматриваемого примера примет вид, представленный на рис 1.4. При этом изменяются МО и матрица кодов проверок:

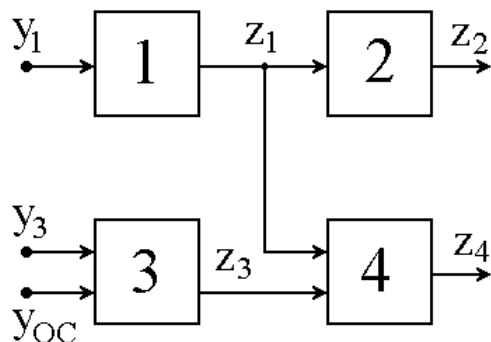


Рис. 1.4

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\Pi = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Вероятностный анализ ОД

Для решения последующих задач построения алгоритмов диагностирования при анализе ОД необходимо оценить вероятности соответствующих его состояний. Так как в большинстве случаев поиск места отказа осуществляется после отрицательного исхода контроля исправности (работоспособности), то в рассмотрение вводят следующие события, соответствующие состояниям ОД:

- A – исправное состояние ОД;
- $\bar{A}$ – неисправное состояние ОД;
- $a_i | \bar{A}$ – отказ i -го элемента при условии неисправности ОД в целом (или, что тоже самое, отказ ОД по вине i -го элемента).

Делается предположение об основном (последовательном) в смысле надежности соединении отдельных элементов (частей). При этом вероятности соответствующих состояний будут выражены через вероятности P_i работоспособных состояний отдельных ПФЭ:

$$P(A) = P_{ОД} = \prod_{i \in M} P_i = P(M); \quad (1.6)$$

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A); \quad (1.7)$$

$$P(a_i | \bar{A}) = q = \frac{Q_i | P_i}{\sum_{j \in M} Q_j | P_j}, \quad (1.8)$$

где M – означает полное множество ПФЭ в ФМ;

$P_{ОД} = P(M)$ – вероятность работоспособного состояния ОД, обусловленная множеством M ;

$$Q_i = 1 - P_i.$$

Вероятности P_i рассчитывают в соответствии с обоснованными моделями безотказности отдельных ПФЭ по зависимостям $P_i(t)$ для интересующего момента времени t .

Результаты вероятностного анализа возможных состояний ОД позволяют количественно оценить в битах неопределенности (энтропии) состояний ОД как источника диагностической информации:

- 1) неопределенность в знаниях о работоспособном (исправном) состоянии ОД

$$H_{uc} = H(M) = -P(M) \log_2 P(M) - \bar{P}(M) \log_2 \bar{P}(M), \text{ бит}, \quad (1.9)$$

где $\bar{P}(M) = 1 - P(M)$;

- 2) неопределенность в знаниях о месте отказа при отрицательном исходе контроля работоспособности, бит,

$$H_{MO} = - \sum_{i \in M} q_i \log_2 q_i; \quad (1.10)$$

- 3) полную неопределенность в знаниях о состоянии ОД, бит,

$$H_{ОД} = H_{uc} + (1 - P_{ОД}) \cdot H_{MO}. \quad (1.11)$$

Эти неопределенности характеризуют потенциальные информационные возможности методов диагностики при допусковом принципе контроля параметров.

Анализ затрат на выполнение элементарных проверок ОД

Диагностирование ОД связано с затратами времени τ_i и средств C_i на выполнение элементарных проверок π_i . Эти затраты

определяются путем расчленения проверок π_i на необходимые составляющие и расчета для этих составляющих затрат времени τ_{ij} и средств C_{ij} с учетом норм времени, квалификации исполнителей, ставок заработной платы, стоимости электроэнергии, расходных материалов и т.п. Методики таких расчетов рассматриваются в курсе «Основы экономики».

Моделирование функциональной модели ОД

Для исследования ФМ и структур устройств автоматического диагностирования на основе ФМ с учетом логики ее построения можно использовать физическую модель на основе элементов «И», элементов, имитирующих отказы ПФЭ, и средств индикации отказов. Физическая модель может быть заменена эквивалентным аналогом системы компьютерного моделирования электронных схем.

Лабораторная установка для физического моделирования состоит из макета, на передней панели которого смонтированы необходимые органы управления и контроля. Она включается с помощью кнопки «Вкл.», расположенной в нижней части макета. Загорание красной лампочки «Сеть», находящейся в верхней части панели, сигнализирует о подаче питания на макет. В схеме источника питания предусмотрена цепь защиты от короткого замыкания. Поэтому при выключении макета необходимо нажать кнопку «Выкл.» на 3 - 4 с, пока не сработает реле в схеме защиты от короткого замыкания.

Наборное поле состоит из ряда гнезд, представляющих собой входы и выходы логических ячеек «И», «НЕ», индикаторного устройства и переключателей (тумблеров). Индикаторное устройство представляет собой усилитель мощности, нагруженный на сигнальную лампочку. Функциональные схемы этих элементов представлены на рис.1.5, где а – схема «И» на шесть входов; б – схема «И» на три входа; в – инвертор «НЕ»; г – усилитель мощности (схема индикации); д – тумблер с выходными гнездами для размножения сигнала.

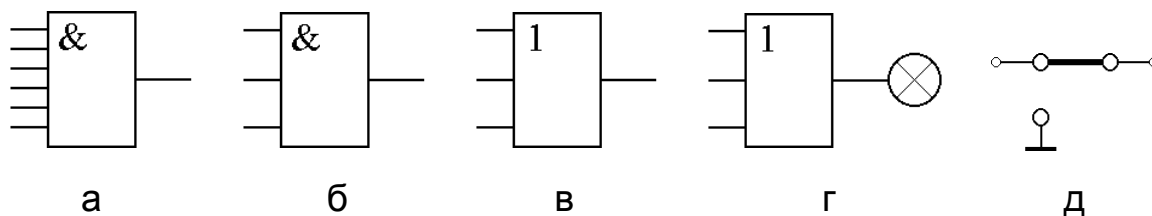


Рис. 1.5

С помощью соединительных проводников различные элементы могут объединяться в разные требуемые структуры. Отказы ПФЭ имитируются путем замыкания тумблеров на корпус.

Моделирующая установка позволяет имитировать поведение ОД. Имитатор ОД разрабатывается на основе ЛМ. Схема имитатора для рассматриваемого примера представлена на рис. 1.6.

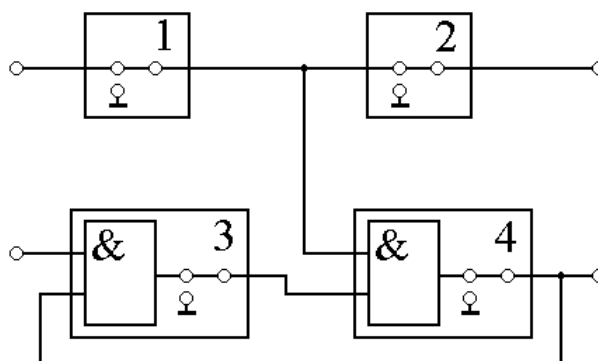


Рис. 1.6

Порядок выполнения работы

1. По заданному преподавателем варианту ФМ (прил. 1) построить граф ОД, матрицу непосредственных связей, матрицу отказов ОД и матрицу кодов проверок.
2. Для каждой проверки определить множество проверяемых и не-проверяемых элементов.
3. Проверить факт наличия в ФМ обратной связи. В случае необходимости произвести разрыв цепей ОС и скорректировать матрицы отказов и кодов проверок.
4. Для заданных к варианту ФМ значений P_i произвести расчеты вероятностей $P(M)$ и q_i по соотношениям (1.6), (1.7).
5. По соотношению (1.9) с использованием таблицы значений функции $H(p) = -P \log_2 P - \bar{P} \log_2 \bar{P}$ (прил. 2) рассчитать значения величины $H_{ис}$ энтропии исправного состояния ОД.
6. По соотношению (1.10) с использованием таблицы значений

функции $q \log_2 q$ (прил. 3) рассчитать энтропию $H_{МО}$ места отказа.

7. По соотношению (1.11) рассчитать полную энтропию состояния ОД.
8. Построить схему имитатора ОД с ОС.
9. Собрать схему имитатора на макете, подав выходные сигналы ПФЭ на сигнальные лампочки, а на вход – напряжение питания. Включить сетевое питание макета.
10. Имитируя отказы отдельных ПФЭ замыканием соответствующих тумблеров на корпус, снять экспериментальную МО. Убедиться в ее соответствии с теоретической МО. После выключения питания макета разобрать собранную схему.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Исходную функциональную модель ОД и ее граф.
2. Матрицы непосредственных связей, отказов и кодов проверок, множества проверяемых и непроверяемых ПФЭ для каждой проверки.
3. Матрицы отказов и кодов проверок для ФМ без обратных связей.
4. Формулы для расчетов и расчетные значения величин $P_{ОД}$, q_i , $H_{ис}$, $H_{МО}$, $H_{ОД}$.
5. Схему имитатора ОД.
6. Экспериментальную МО.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое ОД и каковы разновидности таких моделей?
2. Какими бывают объекты технического диагностирования?
3. Что такое элементарная проверка ОД и чем она характеризуется?

4. Как строится таблица состояний ОД и какими свойствами она должна обладать для реальных задач диагностирования?
5. Что такое логическая модель ОД и как она строится?
6. Что такое матрица отказов и как ее получают?
7. Как получить матрицу кодов проверок?
8. Как отразится наличие обратной связи в ОД на виде МО и матрице кодов проверок?
9. Для чего необходимо устранение ОС в ОД и каковы пути решения этой задачи?
10. Какими вероятностями оцениваются различные состояния ОД?
11. Какими величинами оцениваются неопределенности различных состояний ОД?
12. Что такое затраты на выполнение элементарных проверок ОД и как они определяются?
13. В чем состоит принцип физического моделирования логической модели ОД?

Лабораторная работа № 2

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОБЪЕКТА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Цель работы:

- освоить инженерную методику выбора параметров ОД для контроля работоспособности;
- изучить принципы оптимизации совокупности параметров для контроля работоспособности;
- освоить методики построения алгоритмов контроля работоспособности;
- получить навыки оценки информативности параметров.

Постановка задачи

Задача контроля работоспособности ОД может иметь либо самостоятельные значения, либо предварять задачу поиска места

возникновения в ОД отказа. В любом случае она сводится к выполнению множества $\Pi_K \subset \Pi$ элементарных проверок из полного их множества Π с логической обработкой результатов каждой из проверок. Результат проверки считается положительным (π^+), если контролируемый параметр z находится в допустимой области ($z \in D$), в противном случае результат проверки считается отрицательным (π^-).

При всех положительных результатах проверок из множества Π_K делают вывод B о работоспособном состоянии ОД, а при наличии хотя бы одного отрицательного исхода – вывод $\bar{B}$ о неработоспособном состоянии ОД.

Существуют два вида контроля работоспособности: полный и частичный. При полном контроле выбранная совокупность проверок Π_K фиксирует любой отказ в ОД, при частичном – не все отказы.

Наиболее применяемым является полный контроль. Частичный контроль используют в тех ситуациях, когда установлены ограничения на затраты времени или средств, связанные с его реализацией, и выполнить всю необходимую совокупность требуемых для полного контроля проверок не представляется возможным.

Как для полного, так и для частичного контроля работоспособности необходимо обосновать некоторую оптимальную совокупность проверок $\Pi_{K\text{ опт}}$, для которой затем требуется обеспечить техническую реализуемость в конструкции ОД. Это первый обязательный этап обеспечения возможности контроля ОД.

После решения указанной задачи, которая может не иметь однозначного решения, переходят к построению (синтезу) алгоритма контроля работоспособности. При этом также преследуют цель оптимизации его по затратам. Объединение решений этих двух задач обеспечивает итоговый оптимальный тест контроля работоспособности ОД, который затем можно реализовать различными техническими средствами (в частности, автоматическими).

Методики решения описанных выше задач рассматриваются в данной работе.

Выбор проверок для полного контроля работоспособности

Выбор минимально необходимой совокупности проверок для полного контроля работоспособности выполняют по такой методике:

1. При отсутствии в ЛМ обратных связей искомая минимальная совокупность проверок образуется из всех его свободных выходов, не являющихся входами других ПФЭ.
2. Если обратные связи в модели присутствуют, то порядок выбора проверок следующий:

а) пользуясь кодами разрешенных проверок, находят такие их совокупности, для которых выполняется соотношение $\bigcap_j M_{\Pi j} = M$, т.е. объединение всех проверяемых этими про-

верками ПФЭ составляет их полное множество M , или которые при почленном перемножении своих кодов дают результат вида

$$\underbrace{0 \ 0 \ \dots \ 0}_{\text{число ПФЭ}};$$

б) если совокупностей оказалось несколько, то выбирают окончательно такую, которая обеспечивает лучшие показатели по стоимости или другим характеристикам.

Для рассматриваемого примера ОД (см. рис. 1.1) такими совокупностями являются $\Pi_{K_1} = \{\pi_2, \pi_3\}$, $\Pi_{K_2} = \{\pi_2, \pi_4\}$, так как

$$\frac{\begin{array}{r} \times \pi_2(0011) \\ \pi_3(0100) \\ \hline 0000 \end{array}}{\quad}, \quad \frac{\begin{array}{r} \times \pi_2(0011) \\ \pi_4(0100) \\ \hline 0000 \end{array}}{\quad}.$$

Затраты на выполнение проверок Π_{k_1} , Π_{k_2} зависят от алгоритма контроля.

Описанная выше методика справедлива как при одновременном наличии всех внешних для объекта входных воздействий, так и при сдвиге их во времени. Только во втором случае необходимо после определения минимальной совокупности входных параметров дополнительно найти последовательность их измерения при разрешенных в объекте комбинациях входных воздействий.

Информативности проверок ОД

Задачу выбора проверок для контроля работоспособности (полного или частичного) удобно решать с помощью введения понятия информативностей проверок о работоспособном состоянии ОД.

Информативность проверки есть количество приносимой ею информации о состоянии ОД, которая определяется по формуле

$$I(\pi) = H_0(M) - P_{M_{\Pi}} \cdot H(M_H), \quad (2.1)$$

где $H_0(M)$ – исходная энтропия, рассчитанная в предыдущей работе (см. (1.11));

$P_{M_{\Pi}}$ – вероятность работоспособности множества M_{Π} проверяемых данной проверкой ПФЭ, рассчитываемая как

$$P_{M_{\Pi}} = \prod_{i \in M_{\Pi}} P_i; \quad (2.2)$$

$H(M_H)$ – энтропия, обусловленная множеством M_H не проверяемых данной проверкой ПФЭ, которая определяется так:

$$H(M_H) = P_{M_H} \log_2 P_{M_H} - \overline{P_{M_H}} \log_2 \overline{P_{M_H}}, \quad (2.3)$$

где, в свою очередь,

$$P_{M_H} = \prod_{i \in M_H} P_i. \quad (2.4)$$

Для определения величины $H(M_H)$ можно воспользоваться табл. П.2.1.

Аналогично информативности проверки рассчитывают информативность совокупности проверок Π_K с числом проверок n_K :

$$I(\Pi_K) = H_0(M) - P_{M_{\Pi}}^{(n_K)} H(M_H^{(n_K)}), \quad (2.5)$$

где $P_{M_{\Pi}}^{(n_K)}$ – вероятность работоспособности множества $M_{\Pi}^{(n_K)}$ ПФЭ, проверяемых совместно проверками Π_K , определяемая как

$$P_{M_{\Pi}}^{(n_K)} = \prod_{i \in M_{\Pi}^{(n_K)}} P_i; \quad (2.6)$$

$H(M_H^{(n_K)})$ – энтропия, обусловленная множеством $M_H^{(n_K)}$ и опреде-

ляемая по значениям функции неопределенности (табл. П.2.1) в соответствии со значением вероятности $P_{M_H}^{(n_K)}$:

$$P_{M_H}^{(n_K)} = \prod_{i \in M_H^{(n_K)}} P_i. \quad (2.7)$$

С учетом введения понятия информативности совокупности проверок Π_K (2.5) полнота контроля V оценивается соотношением

$$V(\Pi_K) = \frac{I(\Pi_K)}{H_0(M)}, \quad (2.8)$$

причем $0 < V \leq 1$, а $V = 1$ при полном контроле работоспособности.

Выбор проверок для контроля работоспособности ОД на основе расчета их информативностей

Понятие информативностей проверок и их совокупностей можно применять для целенаправленного формирования оптимального их множества $\Pi_{K\text{ опт}}$ в целях контроля работоспособности ОД.

Рассмотрим вначале задачу выбора минимального множества Π_K для полного контроля работоспособности. Методика ее решения следующая:

1. В соответствии с соотношением (2.1) производят расчет информативностей $I(\pi_i)$ всех проверок π_i , $i = \overline{1, m}$ и выбирают проверку π_1 с максимальной информативностью на первом шаге

$$I(\pi_1) = \max\{I(\pi_i)\} = I_{\max 1}. \quad (2.9)$$

2. Для этой проверки проверяют условие

$$I_{\max 1} = H_0(M). \quad (2.10)$$

Если равенство выполняется, то процесс отбора заканчивают, в противном случае переходят к отбору следующей проверки (второму шагу).

3. На втором шаге вначале для всех оставшихся проверок производят коррекцию их кодов путем умножения на код проверки π_1 . Этим учитывается множество $M_H^{(1)}$ проверенных

π_1 . Этим учитывается множество $M_H^{(1)}$ проверенных проверкой π_1 ПФЭ.

4. Для этих проверок производится расчет их информативностей с учетом первого шага:

$$I_2(\pi_2) = \left[H_0(M_H^{(1)}) - P_{M_H^{(2)}} H(M_H^{(2)}) \right] P_{M_H^{(1)}}, \quad (2.11)$$

где $M_H^{(1)}$ – множество не проверяемых проверкой π_1 ПФЭ (на первом шаге);

$M_H^{(2)}$, $M_H^{(2)}$ – множества проверяемых и не проверяемых рассматриваемой проверкой ПФЭ на втором шаге отбора, определяемые по скорректированному коду проверки (нулям и единицам соответственно).

5. Выбирается проверка с максимальной информативностью для второго шага:

$$I(\pi_2) = \max \{ I_2(\pi_i) \} = I_{\max 2}. \quad (2.12)$$

6. Проверяется выполнение условия

$$I_{\max 1} + I_{\max 2} = H_0(M). \quad (2.13)$$

Если оно выполняется, то процесс отбора заканчивается, если нет – переходят к третьему шагу и т.д.

Рассмотренная процедура может быть применена для решения оптимизационных задач выбора проверок ОД по критериям полноты контроля:

- 1) максимизация полноты при ограничениях затрат на контроль

$$\max V(\Pi_K) \text{ при } C(\Pi_K) \leq C_0;$$

- 2) минимизация затрат при ограничениях на полноту

$$\min C(\Pi_K) \text{ при } V(\Pi_K) \geq V_0.$$

При решении первой задачи критерием остановки выбора является результат сравнения затрат с ограничениями C_0 на них. При решении второй задачи критерием остановки является результат сравнения показателя $V(\Pi_K)$ полноты, определяемого в соответствии с (2.8) с заданным уровнем V_0 , при этом сами проверки необхо-

димо выбирать по критерию эффективности

$$\max \left\{ \frac{I_S(\pi_i)}{C(\pi_i)} \right\}, \quad (2.14)$$

где $I_S(\pi_i)$ – информативность проверки π_i на S -м шаге;

$C(\pi_i)$ – затраты на проверку π_i .

Алгоритмы контроля работоспособности ОД

Алгоритм контроля работоспособности (как и вообще алгоритм диагностирования) есть совокупность предписаний в виде последовательности проверок ОД и правил обработки их результатов в целях получения диагноза. Алгоритмы диагностирования могут быть безусловными и условными.

При безусловном алгоритме задают одну фиксированную последовательность проверок: информация о техническом состоянии независимо от результатов отдельных проверок поступает и обрабатывается либо параллельно, либо последовательно во времени.

При параллельном способе затраты средств $C(\Pi_K)$ и времени $\tau(\Pi_K)$ на контроль множества Π_K параметров ОД таковы:

$$C(\Pi_K) = \sum_{i \in \Pi_K} C_i + C_{ЛО}; \quad (2.15)$$

$$\tau(\Pi_K) = \max\{\tau_i\} + \tau_{ЛО}, \quad (2.16)$$

где $C_{ЛО}$, $\tau_{ЛО}$ – затраты средств и времени на логическую обработку результатов допускового контроля параметров ОД.

При последовательном способе затраты времени

$$\tau(\Pi_K) = \sum_{i \in \Pi_K} \tau_i + \tau_{ЛО}, \quad (2.17)$$

затраты же средств могут быть меньше, чем в (2.15), так как один и тот же комплект контрольных средств можно использовать для контроля многих параметров ОД.

При условном алгоритме последовательность выполнения проверок зависит от результатов предыдущего анализа проверок.

Предположим, что для рассматриваемого примера (см. рис. 1.1)

выбрана совокупность проверок для полного контроля работоспособности $\Pi_{K_2} = \{\pi_2, \pi_4\}$, установлена последовательность контроля (выполнения проверок) $I: \pi_2, \pi_4$ и принято, что контроль прекращается при появлении первого отрицательного результата проверки. Тогда последовательность контроля и анализа примет вид схемы, представленной на рис. 2.1.

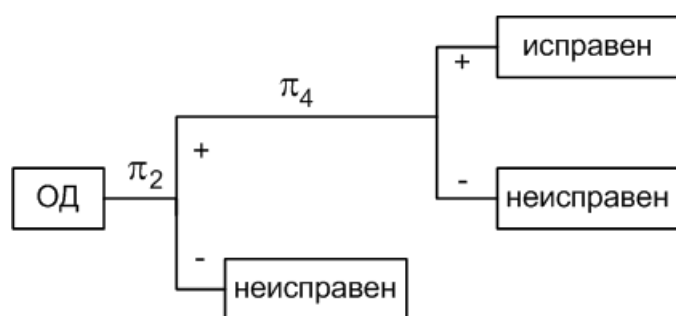


Рис. 2.1

Так как отказы в ОД возникают случайно, то затраты на контроль есть реализации дискретной случайной величины, которые соответствуют возможным состояниям ОД: исправному и неисправному (отказам

отдельных ПФЭ). Средние затраты на контроль при этом можно рассчитать по общей формуле

$$\overline{C_K} = \sum_{i=0}^m P(s_i) C_{\Sigma_i}, \quad (2.18)$$

где $P(s_i)$ – вероятность i -го состояния ОД;

C_{Σ_i} – суммарные затраты на контроль при i -м состоянии;

m – число ПФЭ.

Можно показать, что эти расчеты можно существенно упростить, воспользовавшись кодовым описанием схемы контроля. Такое описание, соответствующее рис. 2.1, представлено на рис. 2.2, где в блоке 1 единицы соответствуют ПФЭ; $\overline{\pi}$ означает обратный код проверки; в блоках 2, 3, 4, 5 представлены выводы о состоянии ОД при соответствующих исходах проверок. Коды отдельных блоков означают следующие выводы:

- блок 2 – отказ в ОД может быть среди ПФЭ № 3 и 4;
- блок 3 – отказ в ОД есть, и он находится среди ПФЭ № 1 и 2;
- блок 4 – отказ в ОД есть, и он находится среди ПФЭ № 3 и 4;
- блок 5 – все ПФЭ исправны (ОД исправен).

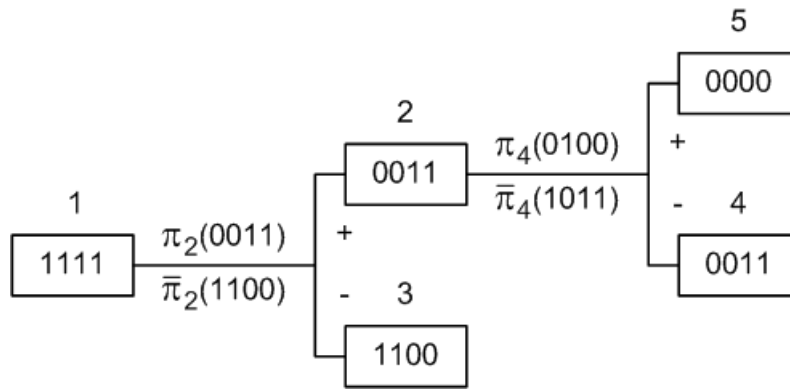


Рис. 2.2

Эти коды образуются путем произведений прямого и обратного кодов предыдущей проверки на код предшествующего блока.

Таким образом, коды блоков схемы контроля указывают не только на исправное или неисправное состояние ОД, но и частично локализируют место возникшего отказа.

Далее рассуждаем следующим образом: стоимость попадания по схеме в вершину 5 равна $(C_2 + C_4)$ при вероятности $P(s_0) = P(A) = P_{ОД}$; стоимость попадания в вершину 4 равна $(C_2 + C_4)$ при вероятности $(1 - P_{ОД}) \cdot (q_3 + q_4)$; стоимость попадания в вершину 2 равна C_2 при вероятности $(1 - P_{ОД}) \cdot (q_1 + q_2)$.

Исходя из этого можем вычислить средние затраты на контроль:

$$\bar{C}_{K_I} = P_{ОД}(C_2 + C_4) + \bar{P}_{ОД}(q_1 + q_2)C_2 + \bar{P}_{ОД}(q_3 + q_4)(C_3 + C_4). \quad (2.19)$$

Теперь рассмотрим последовательность контроля на II: π_4, π_2 . Схема контроля представлена на рис. 2.3.

Аналогично предыдущему случаю будем иметь следующее:

$$\bar{C}_{K_{II}} = P_{ОД}(C_2 + C_4) + \bar{P}_{ОД} \cdot q_2(C_2 + C_4) + \bar{P}_{ОД}(q_1 + q_3 + q_4)C_4. \quad (2.19)$$

Сравнивая величины $\bar{C}_{K_I}$ и $\bar{C}_{K_{II}}$, выбираем оптимальную последовательность проверок π_2, π_4 , обеспечивающую $\min \bar{C}_k$.

Для конкурирующей совокупности проверок $\Pi_{K_I} = \{\pi_2, \pi_3\}$ можно поступить аналогично и окончательно выбрать оптимальную совокупность Π_K и последовательность проверок для полного контроля работоспособности.

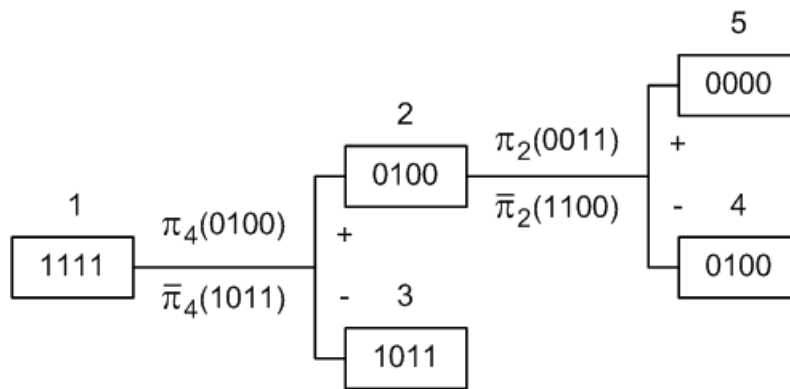


Рис. 2.3

Синтез условного алгоритма контроля на основе информационного критерия

Чтобы избежать оптимизации условного алгоритма контроля путем перебора, можно использовать целенаправленный метод оптимизации на основе критерия эффективности (2.14).

Рассмотрим суть этого метода на примере:

1. Рассчитываем по (2.5) информативности проверок π_2 , π_3 , π_4 :

$$I(\pi_2), I(\pi_3), I(\pi_4).$$

2. Находим их эффективности: $F_2 = I(\pi_2)/C_2$, $F_3 = I(\pi_3)/C_3$,

$$F_4 = I(\pi_4)/C_4.$$

3. Выбираем наиболее эффективную проверку. Если это оказалась одна из проверок π_3 , π_4 , то оптимальная последовательность определена. Это будет либо π_4 , π_2 , либо π_3 , π_2 .
4. Если же эффективной оказалась проверка π_2 , то по (2.11) производим расчет информативностей $I_2(\pi_3)$, $I_2(\pi_4)$. Находим их эффективности: $F_3 = I_2(\pi_3)/C_3$, $F_4 = I_2(\pi_4)/C_4$.
5. По результатам расчета выбираем одну из проверок π_3 , π_4 и окончательно формируем оптимальную последовательность контроля.

Порядок выполнения работы

1. Для выбранного ранее варианта ЛМ выбрать совокупность (совокупности) проверок для полного контроля работоспособности методом анализа их кодов.
2. Для выбранных проверок (или совокупностей проверок) по соотношениям (2.1) – (2.4) с использованием значений функции $H(p)$ (табл. П.2.1) рассчитать информативности. При этом значение величины $H_0(M)$ взять из предыдущей работы.
3. По результатам расчета определить проверку (проверки) с максимальной информативностью.
4. Для этих же совокупностей проверок по соотношениям (2.11), (2.12) реализовать второй шаг расчета информативностей, оценить суммарную информативность двух шагов и обеспечиваемую полноту контроля. Сделать выводы.
5. Оценить параметры безусловного алгоритма контроля работоспособности.
6. Для выбранной совокупности (совокупностей) построить условные алгоритмы контроля работоспособности, оценить их средние затраты и выбрать оптимальный алгоритм.
7. С использованием результатов расчета информативностей в пп. 2, 4 произвести расчет эффективностей рассматриваемых проверок и на этой основе построить оптимальный условный алгоритм контроля работоспособности.
8. Сравнить результаты построений пп. 6 и 7, сделать выводы.
9. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Совокупность (совокупности) проверок для полного контроля работоспособности с кодовым обоснованием правильности их выбора.
2. Результаты расчета информативностей проверок, вошедших в

выбранные совокупности.

3. Результаты расчета информативностей проверок для второго шага отбора, суммарные информативности совокупностей проверок, величину полноты контроля.
4. Параметры безусловного алгоритма контроля.
5. Условные алгоритмы контроля для выбранных совокупностей проверок в виде схем контроля с кодовыми обозначениями и рассчитанными средними затратами на контроль.
6. Результаты расчета эффективностей проверок и синтезированный оптимальный алгоритм в виде схемы контроля.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое минимальная совокупность параметров (проверок) ОД для полного контроля работоспособности?
2. В чем суть методики выбора проверок для полного контроля работоспособности?
3. Что такое информативность проверки и как она рассчитывается?
4. Чем отличается информативность совокупности проверок от информативности отдельной проверки?
5. В чем суть методики выбора параметров для контроля работоспособности на основе расчета информативностей?
6. Сформулируйте оптимизационные задачи выбора параметров для контроля работоспособности.
7. В чем разница между условным и безусловным алгоритмами контроля работоспособности?
8. Каковы критерии качества безусловного и условного алгоритмов?
9. Как построить схему условного алгоритма?
10. В чем суть методики расчета средних затрат на контроль с использованием схемы контроля с кодовыми обозначениями?

Лабораторная работа № 3

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА ОБЪЕКТА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Цель работы

- освоить методику минимизации числа проверок для поиска места отказа ОД;
- изучить методики построения различных алгоритмов поиска места отказа;
- получить навыки графического построения алгоритмов поиска места отказа, оценки их эффективности и применения программы автоматизированного их синтеза.

Постановка задачи

Если контроль работоспособности ОД дал отрицательный результат, то возникает необходимость поиска места отказа. Опыт эксплуатации ЭС показывает, что время поиска отказов существенно больше времени их устранения, поэтому большое внимания уделяют разработке методов поиска отказов, на основе которых можно вручную или автоматически в наиболее короткий срок определить дефектный элемент системы.

Составление алгоритмов поиска – одна из основных задач технического диагностирования. Для составления алгоритмов используют некоторые критерии эффективности, например, минимум средних потерь (времени или средств) на поиск отказа. Решение указанной задачи может потребовать минимизации числа контрольных точек (проверок) ОД. Методики решения указанных задач применительно к логической модели ОД и рассматриваются в данной работе.

Поэлементный алгоритм поиска места отказа

Рассматриваемый алгоритм является безусловным алгоритмом с условной остановкой. Для построения этого алгоритма не обязательно строить матрицу отказов, а достаточно выделить части ОД (ПФЭ) с точностью, до которых локализуется место отказа, и определить условные вероятности q_i этих частей и затраты C_i на выполнение их проверок. Затраты C_i будут определяться методом проверки. Например, проверку можно осуществить подачей на вход ПФЭ входных сигналов (с контролем их правильности) и контролем допустимости выходных сигналов.

Проверку можно осуществить и путем замены рассматриваемого ПФЭ на заведомо исправный с контролем работоспособности ОД.

ПФЭ проверяют по одному в заранее определенной последовательности. Если проверяемый ПФЭ исправен, то проводят проверку следующего ПФЭ, если неисправен, то поиск прекращают.

Предположим, что для рассматриваемого примера установлена

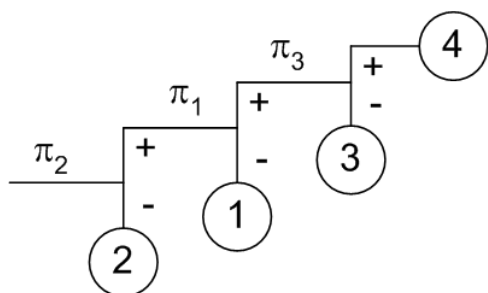


Рис. 3.1

последовательность проверок ПФЭ: 2, 1, 3, 4. Тогда поэлементный алгоритм поиска примет вид, представленный на рис. 3.1. Отсутствие в схеме алгоритма последней проверки π_4 объясняется так называемым «концевым эффектом» поиска одиночных отказов, кото-

рый выполняется после отрицательного исхода контроля ОД (последний ПФЭ нет необходимости контролировать).

Для приведенного алгоритма средние затраты на поиск будут равны:

$$\bar{C} = q_2 C_2 + q_1 (C_1 + C_2) + q_3 (C_3 + C_1 + C_2) + q_4 (C_3 + C_1 + C_2). \quad (3.1)$$

Другая последовательность поэлементных проверок приведет к другим средним затратам.

Можно показать, что минимальные средние затраты достигаются при упорядочении последовательностей проверок по принципу

$$\max\{q_i|_{C_i}\} \text{ или } \min\{C_i|_{q_i}\}. \quad (3.2)$$

Минимизация совокупности контрольных параметров для поиска места отказа методом контрольных замеров

Метод контрольных замеров, основанный на подаче входных (тестовых или рабочих) воздействий и контроле реакций на выходах соответствующих ПФЭ, может (в зависимости от ОД) допускать минимизацию числа элементарных проверок (или же, соответственно, числа необходимых диагностических параметров z_i). При этом напомним, что обратные связи в ОД должны отсутствовать.

Эта оптимизационная задача с математической точки зрения формулируется как минимизация числа столбцов МО при обеспечении различий всех ее строк.

Для несложных ОД, допускающих просмотр и анализ строк МО, эта задача может быть решена по следующей инженерной методике:

1. Определяют основу минимальной совокупности параметров, которая состоит из следующего:
 - а) свободных внешних выходов, не являющихся входами каких-либо ПФЭ (кроме глобальных проверок, имеющих в кодах все нули);
 - б) неразветвляющихся выходов, т.е. выходов соответствующих последовательному соединению ПФЭ.
2. Для этой основы минимальной совокупности строят укороченную (по столбцам) МО. Строки этой матрицы анализируют на различимость. Если все строки различаются между собой, то процесс отбора заканчивают.
3. Если в основе минимальной совокупности обнаружены одинаковые (неразличимые) строки, то из отобранных ранее столбцов МО выбирают такое минимальное их количество, которое при добавлении к укороченной МО обеспечивает различимость всех строк.
4. При реализации п. 3 методики могут образовываться конкурирующие минимальные совокупности параметров. Поэтому для окончательного выбора одной из них привлекают дополнительные кри-

терии, например, средние затраты на поиск, показатели достоверности и т.п. Это может потребовать построения для конкурирующих совокупностей алгоритмов поиска с расчетом выбранных критериев и их сравнением.

Рассмотрим в качестве примера ОД, представленный в виде ЛМ без обратных связей на рис. 1.4.

Основа минимальной совокупности для него состоит из выходов z_2, z_3, z_4 . Укороченная МО для этих выходов

$$R_{ук} = \begin{matrix} & \begin{matrix} z_2 & z_3 & z_4 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Поскольку все строки $R_{ук}$ различаются, то процесс минимизации на этом заканчивается.

Эту же задачу можно решить путем определения логической функции различия состояний.

Для получения всех наборов диагностических признаков (проверок), позволяющих различать состояния ОД, из матрицы отказов попарным сопоставлением строк выписывают проверки, значениями которых они различаются. Так, для рассматриваемого примера состояния ОД, соответствующие отказам ПФЭ, отличаются признаками:

$$s_1 \cdot s_2 : \pi_1 \vee \pi_2; \quad s_1 \cdot s_3 : \pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_3; \quad s_1 \cdot s_4 : \pi_1 \vee \pi_2;$$

$$s_2 \cdot s_3 : \pi_2 \vee \pi_3 \vee \pi_4; \quad s_2 \cdot s_4 : \pi_2 \vee \pi_4; \quad s_3 \cdot s_4 : \pi_3.$$

Записываем конъюнктивно-дизъюнктивную форму функций различия состояний:

$$F = (\pi_1 \vee \pi_2) \cdot (\pi_1 \vee \pi_2 \vee \pi_3) \cdot (\pi_1 \vee \pi_2) \cdot (\pi_2 \vee \pi_3 \vee \pi_4) \cdot (\pi_2 \vee \pi_4) \cdot \pi_3.$$

От этой формы записи (конъюнкция-дизъюнкций) следует перейти к дизъюнкции-конъюнкций. Целесообразно предварительно упростить функцию, используя известные правила алгебры логики: $y \cdot y = y$; $y \vee y = y$; $y \cdot (y \vee x) = y$; $(y \vee x) \cdot (z \vee x) = yz \vee x$.

В результате получаем

$$F = \pi_2 \cdot \pi_3 \cdot \pi_4 \vee \pi_1 \cdot \pi_2 \cdot \pi_3 \vee \pi_1 \cdot \pi_3 \cdot \pi_4,$$

т.е. поиск места отказа можно осуществлять по одной из трех избыточных форм. Найденное ранее решение (π_2, π_3, π_4) является одной из этих форм.

Минимальная совокупность проверок может быть также определена путем последовательного отбора по критерию информативности. Методика такого отбора следующая:

1. Определяют информативности всех параметров (кроме глобальных, если они есть) или по табл. П.2.1, или по формуле

$$I(\pi_i) = -P(\pi_i^+) \log_2 P(\pi_i^+) - \bar{P}(\pi_i^+) \log_2 \bar{P}(\pi_i^+), \quad (3.3)$$

где $P(\pi_i^+)$ – априорная вероятность положительного исхода проверки π_i .

Эту вероятность, в свою очередь, определяют как

$$P(\pi_i^+) = \sum_{j \in M_H^{(i)}} q_j = \sum q_j(1), \quad (3.4)$$

где q_j – определенные ранее условные вероятности отказов ПФЭ;

$M_H^{(i)}$ – множество не проверяемых данной проверкой ПФЭ;

$q_j(1)$ – условное обозначение, означающее, что в сумму включаются q_j , соответствующие единицам в коде проверки.

2. Выбирают проверку с максимальной информативностью на первом шаге:

$$I(\pi_1) = \max\{I(\pi_i)\} = I_{\max 1}. \quad (3.5)$$

3. Для этой проверки проверяют условие

$$I_{\max 1} = H_{MO}. \quad (3.6)$$

Если равенство выполняется, то процесс отбора заканчивают, в противном случае переходят ко второму шагу.

4. Отобранная проверка π_1 может иметь два исхода: π_1^+ , π_1^- . При исходе π_1^+ отказ находят в множестве $M_H^{(1)}$ не проверяемых

проверкой π_1 ПФЭ. При исходе π_1^- отказ принадлежит множеству $M_H^{(1)}$ проверяемых проверкой π_1 ПФЭ. Поэтому второй шаг отбора выполняют для этих двух исходов отдельно среди оставшихся после выбора π_1 проверок, рассматривая множества $M_H^{(1)}$, $M_{\bar{H}}^{(1)}$ как отдельные ОД.

5. Для исхода π_1^+ определяют множество $M_H^{(1)}$ ПФЭ по единицам в коде проверки π_1 . Корректируют условные вероятности отказов ПФЭ, входящих в $M_H^{(1)}$, как

$$q_i^{(2)} = \frac{q_i}{\sum_{i \in M_H^{(1)}} q_i}. \quad (3.7)$$

Для оставшихся проверок проводят коррекцию их кодов путем умножения на код проверки π_1 .

Определяют априорные вероятности положительных исходов проверок, используя скорректированные коды:

$$P(\pi_i^{(2)+}) = \sum_{i \in M_H^{(2)}} q_i^{(2)} = \sum q_i^{(2)}(1). \quad (3.8)$$

После этого вычисляют информативности проверок для второго шага при исходе π_1^+ как

$$I(\pi_i^{(2)}) = -P(\pi_i^{(2)+}) \log_2 P(\pi_i^{(2)+}) - \bar{P}(\pi_i^{(2)+}) \log_2 \bar{P}(\pi_i^{(2)+}) \quad (3.9)$$

и проверку с максимальной информативностью

$$I_{\max 2}^{(+)} = \max \{ I(\pi_i^{(2)}) \}. \quad (3.10)$$

6. Для исхода π_1^- находят множество $M_{\bar{H}}^{(1)}$ ПФЭ по единицам в коде $\bar{\pi}_1$, обратном коду π_1 . Корректируют условные вероятности отказов ПФЭ, входящих в $M_{\bar{H}}^{(1)}$, как

$$q_i^{(2)} = \frac{q_i}{\sum_{i \in M_{\bar{H}}^{(2)}} q_i}. \quad (3.11)$$

Для оставшихся проверок проводят коррекцию их кодов путем умножения на код $\overline{\pi_1}$.

Определяют априорные вероятности положительных исходов проверок, используя скорректированные коды по соотношению (3.8) и информативности проверок при исходе π_1^- по соотношению (3.9). После этого выбирают проверку с максимальной информативностью

$$I_{\max 2}^{(-)} = \max \left\{ I(\pi_i^{(2)}) \right\}. \quad (3.12)$$

7. Проверяют выполнение условия

$$I_{\max 1} + P(\pi_1^+) I_{\max 2^+} + P(\pi_1^-) I_{\max 2^-} = H_{MO}. \quad (3.13)$$

Если оно выполняется, то процесс отбора заканчивают, если нет – переходят к последующим шагам отбора, которые реализуют аналогично рассмотренному.

Параметрические алгоритмы поиска места отказа

Безусловный алгоритм поиска места отказа (иногда называется комбинационным) предполагает последовательный или параллельный во времени контроль параметров, входящих в минимальную совокупность параметров, формирование фактического кода состояний по результатам такого контроля и сравнение фактического кода с кодами возможных состояний из МО для минимальной совокупности проверок. По совпадению кодов делается вывод о соответствующем отказе ПФЭ.

Условный алгоритм (иногда называют последовательным) предполагает принятие диагностического решения или решения о продолжении поиска после каждой очередной проверки. При этом каждая проверка может иметь положительный π_1^+ или отрицательный π_1^- исход.

Последовательный алгоритм изображается в виде графа поиска с указанием информационных состояний и последовательности проверок.

На начальном этапе построения каждое информационное состояние изображается своим двоичным кодом, где 0 указывает на то, что ПФЭ на данном этапе поиска проверен и является исправным, а 1 – что ПФЭ подозревается в отказе. Проверки также записываются со своими кодами. При этом для положительного исхода проверки код последующего информационного состояния образуется как поэлементное произведение кода предыдущего информаци-

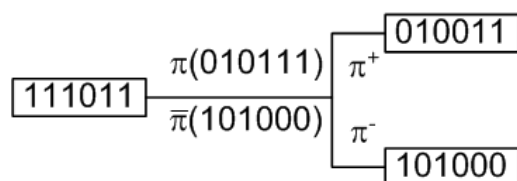


Рис. 3.2

онного состояния на код проверки, а отрицательного исхода – на обратный код проверки. В результате образуется типовая развилка схемы поиска, представленная на рис. 3.2.

Начинается схема поиска начальным информационным состоянием, когда проверенных элементов нет (т.е. в коде все единицы), а заканчивается тупиковыми вершинами, в коде которых присутствует только один символ – единица. Если в процессе построения схемы получилось информационное состояние со всеми нулями, то эту проверку необходимо исключить из схемы, так как противоположное состояние равно исходному.

Схему поиска можно строить как по полному множеству проверок (кроме глобальной проверки), так и по укороченному. В последнем случае в разных ветвях схемы отдельные проверки могут повторяться.

Для рассматриваемого примера возможный вариант схемы поиска представлен на рис. 3.3.

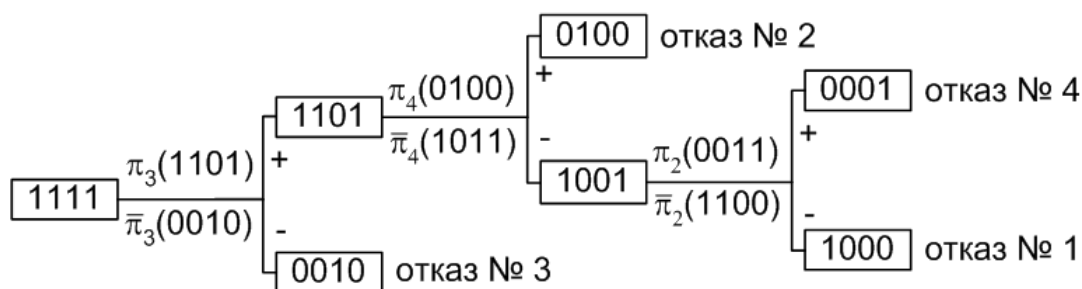


Рис. 3.3

После построения схемы в кодах ее можно изобразить в более наглядной форме (рис. 3.4)

Поскольку отказы носят случайный характер, то эффективность последовательного алгоритма оценивается средними затратами (времени, стоимости) на поиск места отказа:

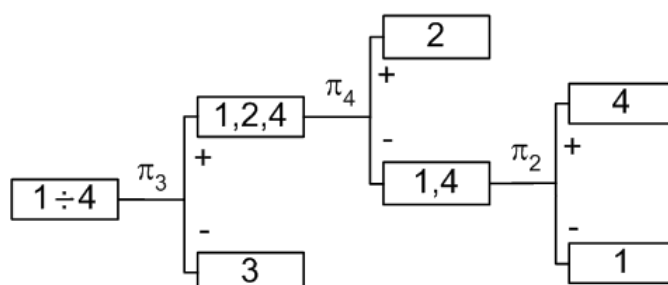


Рис. 3.4

$$\bar{C} = \sum q_i C_{\Sigma_i}, \quad (3.14)$$

где q_i – условная вероятность отказа объекта по вине i -го элемента;

C_{Σ_i} – суммарные затраты на поиск отказа i -го элемента.

Величина C_{Σ_i} рассчитывается по схеме поиска путем суммирования затрат на проверки, которые нужно выполнять для поиска отказа i -го элемента. Так, для схемы, представленной на рис. 3.4, имеем:

$$C_{\Sigma_1} = C_{\Sigma_4} = C_3 + C_4 + C_2;$$

$$C_{\Sigma_2} = C_3 + C_4;$$

$$C_{\Sigma_3} = C_3.$$

Оптимальная схема поиска места отказа должна обеспечить либо минимальные средние затраты (3.14), либо минимальные из максимальных затраты $\bar{C}$ или C_{Σ_i} . Для синтеза таких схем могут применяться известные методы оптимизации: динамического программирования, ветвей и границ, минимакса.

В большинстве случаев решение, совпадающее с оптимальным, дает применение информационно-стоимостного критерия отбора проверок. Этот критерий приводит к квазиоптимальной схеме поиска. Методика ее синтеза при этом в целом совпадает с рассмотренной ранее методикой синтеза минимальной совокупности проверок, только на каждом шаге определяется проверка с максимальной эффективностью

$$F_{\max} = \max \left\{ \frac{I(\pi_i)}{C_i} \right\}$$

и отсутствует проверка выполнения условия после каждого шага.

Данная методика реализуется программой автоматизированного синтеза схемы поиска места отказа. Для использования этой программы необходимо подготовить матрицу непосредственных связей ОД с буквенными обозначениями ПФЭ и величины P_K и C_K – вероятности работоспособного состояния и затрат на контроль ПФЭ.

Порядок выполнения работы

1. Для анализируемого варианта ОД построить оптимальный алгоритм поэлементного поиска места отказа и оценить средние затраты на его реализацию. При этом затраты на выполнение поэлементных проверок оценить как сумму затрат на выполнение контроля входных и выходных сигналов ПФЭ.
2. Определить минимальные совокупности проверок для поиска места отказа по инженерной методике.
3. Определить минимальные совокупности проверок методом логической функции различения состояний. Сравнить полученные результаты с результатами п. 2.
4. Выполнить первые два шага методики информационного синтеза минимальной совокупности.
5. Построить алгоритм комбинационного поиска места отказа по выбранной минимальной совокупности. Оценить затраты на его реализацию.
6. Построить произвольный последовательный алгоритм поиска места отказа и оценить затраты на него.
7. Построить произвольный последовательный алгоритм поиска места отказа, соединенный с последовательным алгоритмом контроля работоспособности.
8. Обратившись к программе автоматизированного синтеза схемы поиска места отказа, построить квазиоптимальную схему поиска и оценить средние затраты на ее реализацию. Сравнить эти за-

траты с пп. 5, 6. Сделать выводы.

9. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Схему поэлементного алгоритма поиска места отказа и рассчитанную величину средних затрат на него.
2. Минимальные совокупности проверок, определенные по инженерной методике.
3. Результаты составления и преобразования логической функции различения состояний и определенные минимальные совокупности проверок.
4. Расчетные соотношения и результаты выполнения первых двух шагов методики информационного синтеза минимальной совокупности проверок.
5. Алгоритм комбинационного поиска места отказа и рассчитанные затраты на него.
6. Произвольный алгоритм последовательного поиска и рассчитанные затраты на него.
7. Последовательный произвольный алгоритм поиска места отказа, соединенный с последовательным алгоритмом контроля работоспособности.
8. Квазиоптимальный алгоритм поиска места отказа и затраты на него.
9. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность поэлементного алгоритма поиска места отказа? Почему он является безусловным с условной остановкой?
2. Что такое «концевой эффект» поэлементного алгоритма поиска?

3. Как выбрать основу минимальной совокупности проверок и дополнения к ней?
4. Как составляется логическая функция различения состояний ОД и какие преобразования с ней проводят?
5. В чем суть методики информационного синтеза минимальной совокупности проверок?
6. В чем суть комбинационного алгоритма поиска места отказа? Каковы его преимущества и недостатки?
7. В чем суть последовательного алгоритма поиска места отказа? Каковы его преимущества и недостатки?
8. Что такое информационное состояние поиска?
9. В чем суть методики построения квазиоптимальной схемы поиска места отказа?
10. Какие исходные данные необходимы для использования программы автоматизированного синтеза квазиоптимальной схемы поиска места отказа?

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Цель работы:

- изучить методики синтеза устройств логической обработки информации в автоматических системах диагностирования;
- получить навыки практической реализации основных структур устройств логической обработки и моделирования работы автоматических систем диагностирования.

Постановка задачи

Автоматическая система диагностирования (АСД) – совокупность технических устройств, позволяющих осуществлять автомати-

ческий контроль параметров сложных систем и логическую обработку результатов такого контроля, – обычно решает две задачи:

- 1) по выходным параметрам объекта контролирует его работоспособность, а в случае потери последней – определяет место отказа;
- 2) по выходным параметрам промежуточных каскадов контролирует их работоспособность и при необходимости определяет место отказа.

Принципы построения АСД различны и в значительной степени зависят от назначения и условия эксплуатации ОД. Вместе с тем следует считать, что все АСД, основанные на логическом (допусковом) контроле параметров в той или иной форме, включают в себя следующие основные элементы:

1. Датчики для преобразования контролируемых параметров в так называемый унифицированный сигнал, удобный для дальнейшей обработки.
2. Компараторы для сравнения выходных напряжений датчиков с их номинальными и допустимыми значениями. Конструктивно компараторы часто выполняются как одно целое с датчиками.
3. Устройства логической обработки (УЛО) информации, поступающей с датчиков компараторов.
4. Программные устройства, коммутаторы-распределители, индикаторные и регистрирующие устройства.

При диагностировании дискретных узлов с логическими или константными неисправностями датчики и компараторы могут отсутствовать, так как сами сигналы с ОД несут характер логических диагностических признаков.

В данной работе исследуются методы построения (синтеза) устройств логической обработки, так как они требуют знания структуры ОК, зависят от методов контроля и поиска места отказа. При выполнении данной работы используются результаты предыдущих лабораторных работ.

Методика синтеза УЛО комбинационного типа

Обработка унифицированных сигналов типа 0, 1 для автоматического контроля работоспособности состоит в сравнении сигналов с требуемых контрольных точек, выбранных в лабораторной работе № 2, логической схемой «И».

Для поиска места отказа используют минимальную совокупность проверок, определенную в лабораторной работе № 3. Обработка в этом случае осуществляется автоматическими устройствами-дешифраторами, реализующими переключательные функции и ставящими в соответствие входному коду сигналов, образуемому из сигналов контрольных точек ЛМ, значение одного из выходов, равное нулю или единице. Для синтеза дешифратора используют матрицу отказов. Произведем синтез части дешифратора для рассматриваемой в качестве примера ЛМ. Используем первую строку строку матрицы $R_{ук}$. В лабораторном макете единицы матрицы отказов соответствуют напряжению 0 В. Для того, чтобы выход дешифратора, соответствующий отказу первого ПФЭ, имел величину напряжения, отличную от 0 В, код первой строки преобразуем с помощью уравнения

$$b_1 = \bar{z}_2 z_3 \bar{z}_4. \quad (4.1)$$

Технически это уравнение реализуется с помощью двух схем «НЕ» и одной схемы «И» на три входа.

На рис. 4.1 приведены часть дешифратора отказа ПФЭ № 1 и схема контроля работоспособности по параметрам z_2 и z_4 .

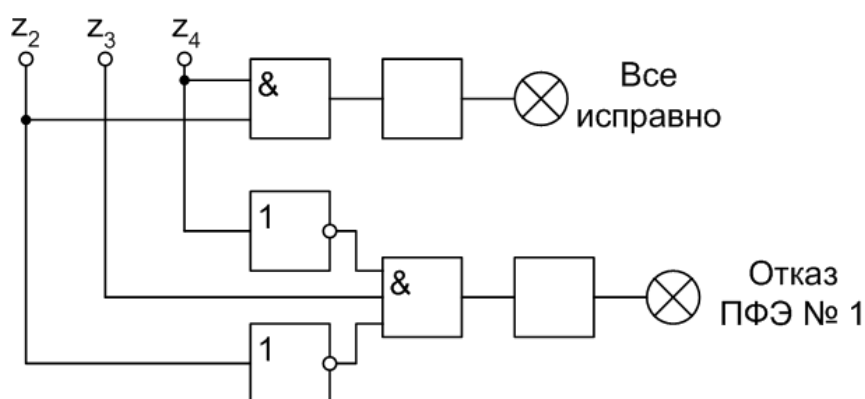


Рис. 4.1

Для остальных отказов ПФЭ другие части дешифратора синте-

зируют аналогично. При этом необходимо иметь в виду, что многие схемы «НЕ» по отдельным параметрам z_i повторяются, поэтому в целях аппаратного упрощения их можно использовать один раз, размножая выходной сигнал.

Полная схема УЛО комбинационного типа представлена на рис. 4.2

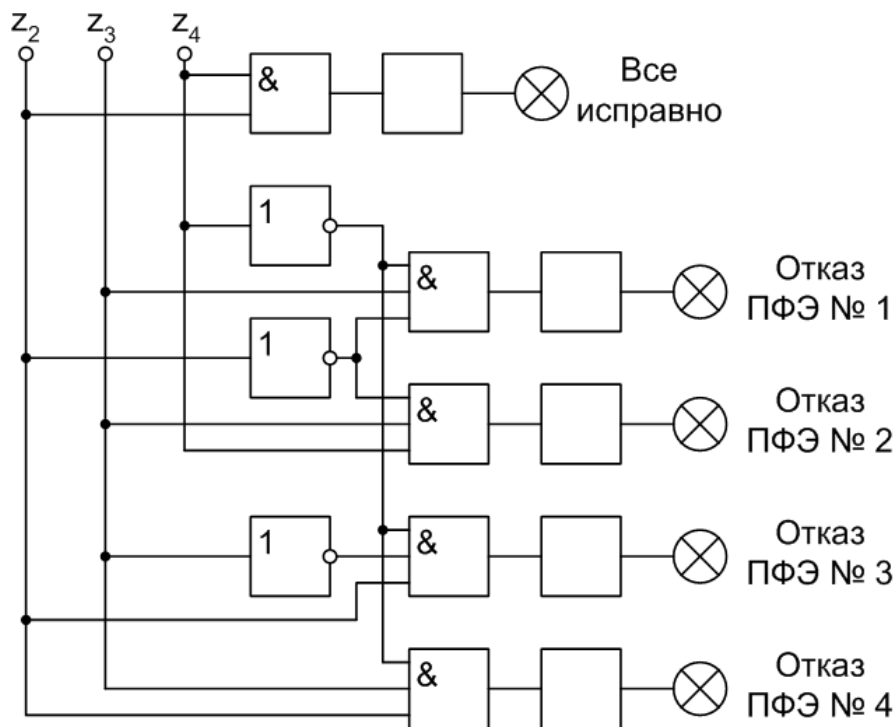


Рис. 4.2

Методика синтеза упрощенного УЛО одиночных отказов

При наличии только одиночных отказов в ОД структуру дешифратора можно упростить, используя только входы и выход соответствующего ПФЭ. Число датчиков при этом будет равно числу ПФЭ.

При отказавшем ПФЭ его входы будут соответствовать 0 матрицы отказов, а выход – 1. При используемой в макете логике напряжений очевидно, что должна быть реализована функция

$$b = y_1 y_2 \dots y_i \bar{z}, \quad (4.2)$$

где y_i – входы; $\bar{z}$ – инвертированный выход ПФЭ.

Схема реализации такой функции представлена на рис. 4.3.

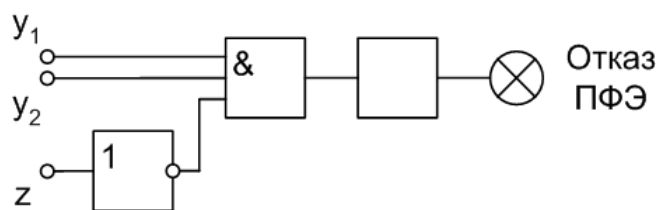


Рис. 4.3

На рис. 4.4 изображена схема такого дешифратора для ОД, показанного на рис. 1.4. При этом сам ОД представлен датчиками выходных унифицированных

сигналов D_i с соответствующих ПФЭ. Опорный сигнал U_{on} соответствует исправным входным сигналам y_1, y_2, y_{oc} . Контроль работоспособности осуществляется по сигналам z_2, z_4 .

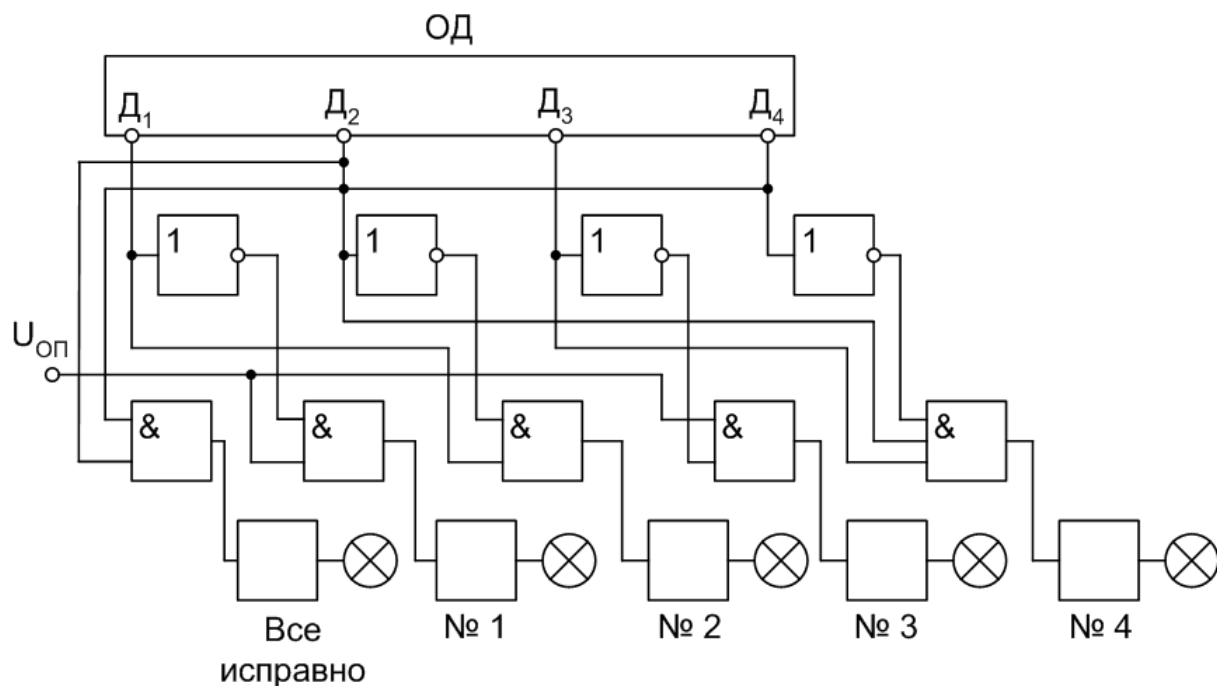


Рис. 4.4

Методика синтеза УЛО при последовательном поиске места отказа

При последовательном поиске места отказа УЛО строят по схеме поиска на основе логической ячейки (ЛЯ), реализующей положительные и отрицательные исходы проверок. Структура ЛЯ приведена на рис. 4.5, где u_{∂} – сигнал датчика-компаратора; u_{on} – опорный сигнал либо с внешнего источника, либо от предыдущей ЛЯ.

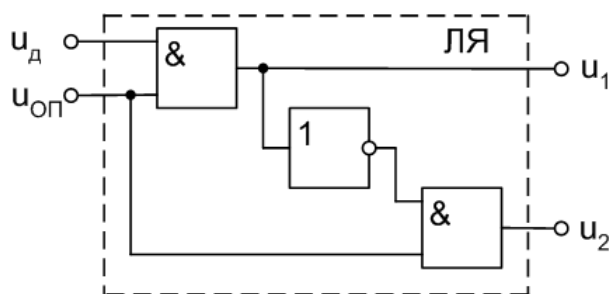


Рис. 4.5

Для поэлементной схемы поиска, изображенной на рис. 3.1, структура последовательного УЛО представлена на рис. 4.6 (без контроля работоспособности).

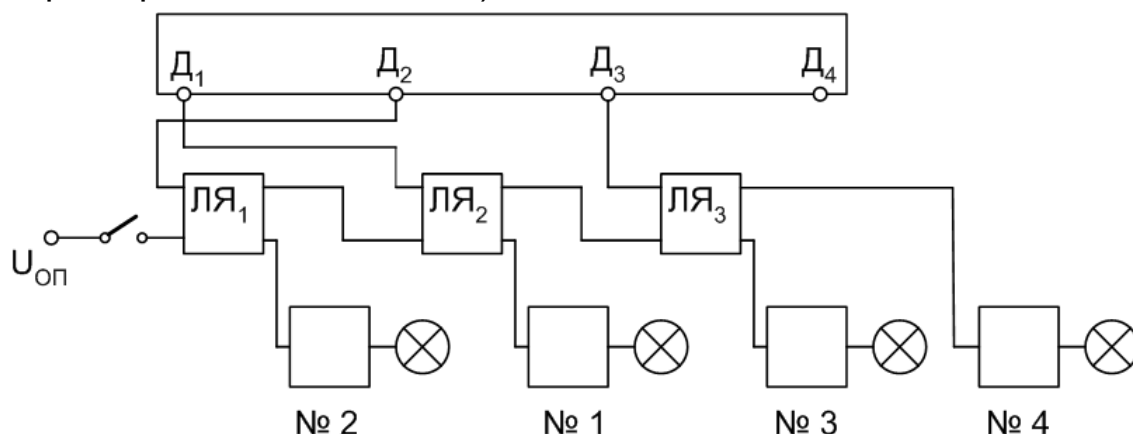


Рис. 4.6

Сигнал $U_{оп}$ является разрешающим для начала работы АСД.

На рис. 4.7 показана структура УЛО, реализующая схему последовательного поиска, изображенную на рис. 3.3, 3.4.

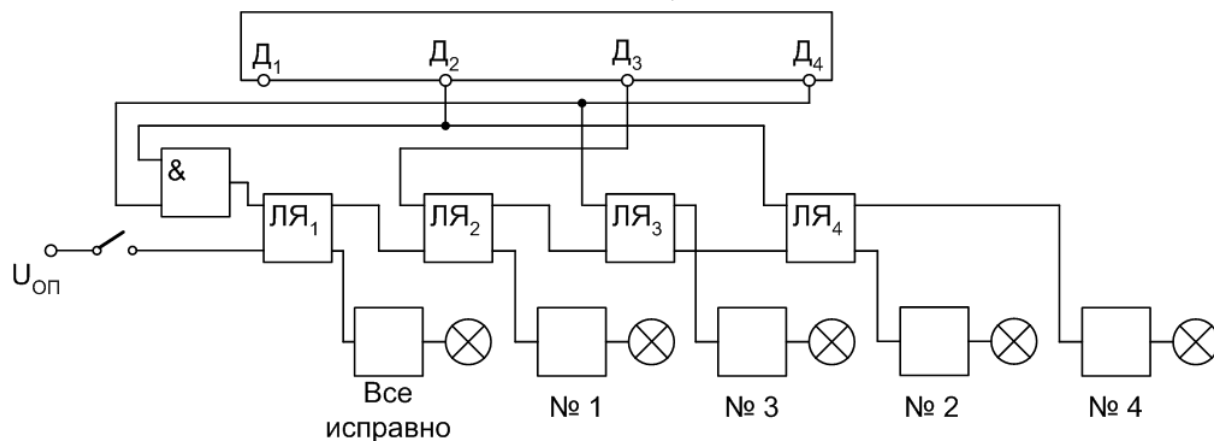


Рис. 4.7

Моделирование работы АСД

Для моделирования АСД на лабораторной установке, описанной в лабораторной работе №1, необходимо разработать структурно-логическую схему, объединяющую схему имитатора ОД (см. лаб. работу №1) и схемы УЛО, рассмотренные выше, при этом структуру ЛЯ на схеме желательно раскрыть. Необходимо указать также число "хвостов" соединительных проводников для облегчения процедуры набора схемы на макете.

По разработанной схеме собирают макет, исследуемый путем искусственного введения отказов (замыкания тумблеров на корпус).

Порядок выполнения работы

1. Разработать схему УЛО комбинационного типа для минимальной совокупности проверок.
2. Составить упрощенную схему УЛО комбинационного типа.
3. Разработать схему УЛО последовательного типа для минимальной совокупности проверок.
4. По указанию преподавателя разработать совместные схемы УЛО и имитатора ОК.
5. Собрать схему УЛО и имитатора ОК на макете и смоделировать их работу. Разобрать схему.
6. Сделать выводы о работе.
7. Составить отчет.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Функциональные схемы АСК параллельного и последовательного действия.
2. Схему одного из УЛО с имитатором ОД.
3. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются АСД?
2. Какие характеристики АСД Вы знаете?
3. Какую роль играют датчики-преобразователи в АСД и какое основное требование к ним предъявляется?
4. Что используется в качестве логического устройства в АСД последовательного и параллельного действия?
5. Каковы недостатки и преимущества АСД последовательного и параллельного действия?
6. Почему датчики-компараторы отсутствуют при диагностировании дискретных ОД?

Лабораторная работа № 5

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭА

Цель работы:

- изучить методики оценки показателей достоверности контроля работоспособности и поиска места отказа ЭА;
- получить навыки оценки показателей достоверности с использованием статистических данных о контролируемых параметрах ОД, погрешностей их измерения и статистических таблиц.

Постановка задачи

Согласно ДСТУ 2389-94 достоверность технического диагностирования (контроля технического состояния) есть степень объективного соответствия диагноза (результата контроля) действительному техническому состоянию объекта. Причинами недостоверности диагностирования могут быть отказы системы диагностирования, неполнота контроля, погрешности контрольно-измерительных средств, случайный разброс контролируемых параметров в пределах допус-

ка.

От достоверности диагностирования в значительной степени зависит не только эффективность самого процесса диагностирования, но и эффективность использования диагностируемой аппаратуры. Поэтому повышение достоверности диагностирования одна из основных задач, стоящих как перед проектировщиками средств диагностирования, так и перед персоналом, их эксплуатирующим.

В данной работе рассматриваются методики оценки показателей достоверности применительно к логическим методам контроля диагностических параметров (признаков), которые использовались в методах диагностирования, проанализированных в предыдущих работах. Таким образом, данная работа завершает рассмотрение диагностических задач применительно к диагностическим моделям логического вида.

Достоверность контроля диагностических параметров

С учетом логики принятого выше рассмотрения достоверность результата контроля диагностического параметра (признака) z совпадает с достоверностью полученного при контроле исхода элементарной проверки $\pi: \pi^+, \pi^-$.

Пусть контролируемый параметр z является случайным с плотностью распределения $f(z)$ и пусть на него задан гарантийный допуск $D_T = [a, b]$. Тогда вероятностью работоспособности ОД по данному параметру

$$p = \int_a^b f(z) dz. \quad (5.1)$$

Если состояние ПФЭ определяется только одним этим параметром, то p совпадает с вероятностью работоспособности P ПФЭ.

Предположим, что параметр z измеряется измерителем с аддитивной погрешностью Δ , плотность распределения которой равна $f_{\Pi}(\Delta)$. Тогда возможны следующие ситуации ошибочного заключения о значении контролируемого параметра относительно установ-

ленного контрольного допуска $D_K = [a_K, b_K]$:

- ошибка первого рода – принятие решения π^- при условии, что параметр z имеет допустимое значение;
- ошибка второго рода – принятие решения π^+ при условии, что параметр z имеет недопустимое значение.

Обозначая вероятности ошибок первого и второго рода через α и β соответственно и помня об условном обозначении, принятом для элементов матрицы отказов, приходим к таким соотношениям:

$$\alpha = P\{\pi^- | (z \in D_I)\} = P\{(z + \Delta \notin D_K) | (z \in D_I)\} = P(1|0); \quad (5.2)$$

$$\beta = P\{\pi^+ | (z \notin D_I)\} = P\{(z + \Delta \in D_K) | (z \notin D_I)\} = P(0|1). \quad (5.3)$$

В случае, когда $f(z)$ и $f_{II}(\Delta)$ нормальны, гарантийный допуск совпадает с контрольным, а погрешность Δ является центрированной (предполагается, что неисключенный остаток систематической погрешности измерений пренебрежимо мал), величины α и β могут быть определены по данным табл.П.4.1 как

$$\alpha = 0.5[\alpha(\nu_1) + \alpha(\nu_2)]; \quad (5.4)$$

$$\beta = 0.5[\beta(\nu_1) + \beta(\nu_2)], \quad (5.4a)$$

где $\nu_1 = x$; $\nu_2 = kx$;

$$x = \frac{b - m_z}{\sigma_z}; \quad k = \frac{m_z - a}{b - m_z};$$

$\alpha(\nu_1)$, $\alpha(\nu_2)$, $\beta(\nu_1)$, $\beta(\nu_2)$ – значения, определяемые из таблицы по величинам ν_1 , ν_2 и величине $\delta = \sigma_{\Delta} / \sigma_z$;

m_z – математическое ожидание параметра z (совпадает с номинальным значением);

σ_z , σ_{Δ} – среднеквадратические отклонения параметров z и погрешности Δ соответственно.

Пример. Исходные данные: контролируемый параметр имеет допуск [8,5 В; 11,5 В] и распределен по нормальному закону; $m_z = 10,0$ В; $\sigma_z = 1,0$ В; случайная погрешность измерения также

распределена по нормальному закону с $\sigma_{\Delta} = 0,3$ В. Определить вероятности ошибок α и β .

Вычисляем величины x , k и δ :

$$x = \frac{11,5 - 10,0}{1,0} = 1,5; \quad k = \frac{10,0 - 8,5}{11,5 - 10,5} = 1; \quad \delta = \frac{0,3}{1,0} = 0,3.$$

По табл. П.4.1 находим:

$$\alpha(\nu_1) = \alpha(\nu_2) = \alpha(1,5) = 0,0407130;$$

$$\beta(\nu_1) = \beta(\nu_2) = \beta(1,5) = 0,0235184.$$

Достоверность контроля работоспособности

При контроле исправности (работоспособности) рассматривают следующие события и их сочетания:

A , $\bar{A}$ – исправное и неисправное состояния ОД;

B , $\bar{B}$ – указания системы диагностирования на исправное и неисправное состояния ОД;

$(A, \bar{B})$ – события, состоящие в том, что исправный ОД по результатам контроля признается неисправным;

$(\bar{A}, B)$ – событие, состоящее в том, что неисправный ОД по результатам контроля признан исправным;

$\bar{B}|A$ – ложный отказ ОД;

$B|\bar{A}$ – необнаруженный отказ ОД;

$A|B$ – событие, заключающееся в том, что признанный исправным ОД на самом деле исправен;

$\bar{A}|\bar{B}$ – событие, заключающееся в том, что признанный неисправным ОД на самом деле неисправен.

Все указанные события характеризуются соответствующими вероятностями, часть из которых являются показателями достоверности по ДСТУ 2389-94:

– вероятность ложного отказа ОД

$$P_{ЛО} = P(\bar{B}|A); \quad (5.5)$$

- вероятность необнаруженного отказа ОД

$$P_{HO} = P(\bar{B}|\bar{A}); \quad (5.6)$$

- риск заказчика

$$\alpha = P(A, \bar{B}) = P(A) \cdot P(\bar{B}|A) = P_{OD} \cdot P_{ЛО}; \quad (5.7)$$

- риск изготовителя

$$\beta = P(\bar{A}|B) = P(A) \cdot P(\bar{B}|A) = (1 - P_{OD}) \cdot P_{HO}; \quad (5.8)$$

- достоверность определения исправного состояния ОД (апостериорная вероятность нахождения ОД в исправном состоянии)

$$\begin{aligned} D_{II} = P(A|B) &= \frac{P(A) \cdot P(B|A)}{P(A) \cdot P(B|A) + P(\bar{A}) \cdot P(B|\bar{A})} = \\ &= \frac{P_{OD} - \alpha}{P_{OD} - \alpha + \beta} = \frac{P_{OD} \cdot P_{HO}}{P_{OD} \cdot \bar{P}_{ЛО} + \bar{P}_{OD} \cdot P_{HO}}; \end{aligned} \quad (5.9)$$

- достоверность определения неисправного состояния ОД (апостериорная вероятность нахождения ОД в неисправном состоянии)

$$\begin{aligned} D_H = P(\bar{A}|\bar{B}) &= \frac{P(\bar{A}) \cdot P(\bar{B}|\bar{A})}{P(\bar{A}) \cdot P(\bar{B}|\bar{A}) + P(A) \cdot P(\bar{B}|A)} = \\ &= \frac{1 - P_{OD} - \beta}{1 - P_{OD} - \beta + \alpha} = \frac{\bar{P}_{OD} \cdot P_{HO}}{\bar{P}_{OD} \cdot P_{HO} + P_{OD} \cdot P_{ЛО}}; \end{aligned} \quad (5.10)$$

- достоверность разбраковки (вероятность принятия правильного решения)

$$D_P = 1 - \alpha - \beta. \quad (5.11)$$

Вероятности $P_{ЛО}$, P_{HO} являются показателями достоверности функционирования СД, а вероятности α , β , D_{II} , D_H , D_P характеризуют достоверность результата диагностирования.

Как видно из приведенных соотношений, все показатели достоверности определяются показателями $P_{ЛО}$, P_{HO} , P_{OD} . Показатели $P_{ЛО}$, P_{HO} зависят от надежности СД, полноты контроля, достоверности функционирования контрольно-измерительных средств. По-

следняя определяется вероятностями ложного и необнаруженного отказов P_{HO}^{uzm} , $P_{ЛО}^{uzm}$. В предположении независимости контрольных параметров вероятности P_{HO}^{uzm} , $P_{ЛО}^{uzm}$ определяются так:

$$P_{ЛО}^{uzm} = 1 - \prod_{i=1}^{n_K} (1 - \alpha_i); \quad (5.12)$$

$$P_{HO}^{uzm} = 1 - \prod_{i=1}^{n_K} (1 - \beta_i), \quad (5.13)$$

где α_i , β_i – вероятности ошибок первого и второго рода при контроле i -го из n_K контрольных параметров.

В силу малости величин α_i , β_i имеют место следующие приближенные соотношения:

$$P_{ЛО}^{uzm} \approx \sum_{i=1}^{n_K} \alpha_i, \quad P_{HO}^{uzm} \approx \sum_{i=1}^{n_K} \beta_i. \quad (5.14)$$

При полном контроле работоспособности вероятности $P_{ЛО}$, P_{HO} находятся как

$$\begin{aligned} P_{ЛО} &= 1 - P_{CD} \cdot \bar{P}_{ЛО}^{uzm} - q_{II}, \\ P_{HO} &= P_{CD} \cdot \bar{P}_{ЛО}^{uzm} + q_{II} + q_{II|H} + P_{CD} \cdot P_{HO}^{uzm}, \end{aligned} \quad (5.15)$$

где P_{CD} – вероятность работоспособности СД;

q_{II} – условная вероятность возникновения такого отказа в СД, когда любое состояние ОД признается исправным;

$q_{II|H}$ – условная вероятность возникновения такого отказа в СД, когда неисправный ОД признается исправным, и наоборот.

Для высоконадежной СД, когда $P_{CD} \cong 1$, величины $P_{ЛО}$ и P_{HO} будут равны:

$$P_{ЛО} \cong P_{ЛО}^{uzm}, \quad (5.16)$$

$$P_{HO} \cong P_{HO}^{uzm}. \quad (5.17)$$

Достоверность поиска места отказа

При определении достоверности поиска места отказа в рассмотрение вводят такие события:

- a_k – отказ k -го ПФЭ;
- b_j – указание СД на отказ j -го ПФЭ.

С учетом этих событий вводят следующие показатели достоверности:

- вероятность ложного отказа k -го ПФЭ

$$P_{\text{ЛО}_k} = P(b_k | \bar{a}_k) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m q_j \cdot P(b_k | a_j); \quad (5.18)$$

- вероятность необнаруженного отказа k -го ПФЭ

$$P_{\text{НО}_k} = P(\bar{b}_k | a_k) = 1 - P(b_k | a_k); \quad (5.19)$$

- средняя вероятность безошибочного диагностирования места отказа

$$D_{\text{МО}} = \sum_{k=1}^m q_k \cdot P(b_k | a_k); \quad (5.20)$$

- достоверность определения места отказа k -го ПФЭ

$$D_{\text{МО}_i} = \frac{q_k \cdot P(b_k | a_k)}{\sum_{j=1}^m q_j \cdot P(b_k | a_j)}. \quad (5.21)$$

В выражениях (5.18) – (5.21) предполагается, что поиск места отказа осуществляется после отрицательного исхода контроля работоспособности, поэтому q_j совпадает с вероятностями $P(a_j | \bar{A})$, определенными в лабораторной работе № 1.

Анализ введенных показателей достоверности показывает, что принципиальным моментом при их расчете является оценка вероятностей типа $P(b_k | a_k)$, $P(b_k | a_j)$.

Методика их оценки для комбинационного поиска места отказа следующая:

1. Для каждого из параметров, вошедших в минимальную сово-

купность, выбранную в лабораторной работе № 2, определяют по (5.4) ошибки первого и второго рода при контроле α_j, β_j .

2. В укороченной матрице отказов выделяют k -ю строку и элементы в ней, обозначенные через 0 и 1, а по ним находят выражение

$$P(b_k|a_k) = \prod \bar{\alpha}_i(0) \cdot \prod \bar{\beta}_i(1), \quad (5.22)$$

где $\bar{\alpha}_i = 1 - \alpha_i$; $\bar{\beta}_i = 1 - \beta_i$; $\bar{\alpha}_i(0), \beta_i(0)$ – вероятности ошибок первого и второго рода для параметров, обозначенных через 0 и 1.

3. В этой же матрице выделяют k -ю и j -ю строки и анализируют кодовые обозначения соответствующих элементов. Вводят обозначения 1/0, 1/1, 0/1, 0/0, где верхний символ соответствует k -й строке, а нижний – j -й. Указанные обозначения соответствуют вероятностям $\alpha, \bar{\beta}, \beta, \bar{\alpha}$ соответственно.

4. По найденным обозначениям рассчитывают вероятность $P(b_k|a_j)$:

$$P(b_k|a_j) = \prod \bar{\alpha}_i(0/0) \cdot \prod \alpha_i(1/0) \cdot \prod \bar{\beta}_i(1/1) \cdot \prod \beta_i(0/1). \quad (5.23)$$

Пример. Для укороченной матрицы с параметрами z_2, z_3, z_4 (см. лаб. работу № 3) будем иметь

$$\begin{aligned} P(b_1|a_1) &= \bar{\beta}_1 \cdot \bar{\alpha}_3 \cdot \bar{\beta}_4, & P(b_4|a_4) &= \bar{\alpha}_2 \cdot \bar{\alpha}_3 \cdot \bar{\beta}_4, \\ P(b_1|a_4) &= \alpha_2 \cdot \bar{\alpha}_3 \cdot \bar{\beta}_4, & P(b_4|a_1) &= \beta_2 \cdot \bar{\alpha}_3 \cdot \bar{\beta}_4. \end{aligned}$$

Методика оценки вероятностей вида $P(b_k|a_k), P(b_k|a_j)$ при последовательном поиске места отказа следующая:

1. Определяют величины α_i, β_i для входящих в схему поиска отказов проверок.
2. По схеме поиска определяют, какие проверки необходимо выполнить, чтобы попасть в k -ю вершину.
3. Выбирают в матрице отказов (или в укороченной матрице отказов) столбцы, соответствующие выделенным проверкам, и для элементов k -й и j -й строк и выделенных столбцов вы-

полняют действия соотношений (5.22) и (5.23).

Пример. По схеме поиска, представленной на рис. 3.4, видим, что для попадания в вершины 1 и 4 необходимо выполнить проверки Π_2 , Π_3 , Π_4 . Поэтому выражения для вероятностей $P(b_1|a_1)$, $P(b_1|a_4)$, $P(b_4|a_1)$, $P(b_4|a_4)$ совпадают с приведенными выше.

Для попадания в вершину 2 необходимо выполнить проверки Π_3 , Π_4 . Поэтому выражения для вероятностей $P(b_2|a_2)$, $P(b_2|a_4)$, $P(b_2|a_1)$, $P(b_2|a_3)$ будут такими:

$$\begin{aligned}P(b_2|a_2) &= \bar{\alpha}_3 \cdot \bar{\alpha}_4; & P(b_2|a_1) &= \bar{\alpha}_3 \cdot \bar{\beta}_4; \\P(b_2|a_3) &= \beta_3 \cdot \beta_4; & P(b_2|a_4) &= \bar{\alpha}_3 \cdot \beta_4.\end{aligned}$$

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать соотношение (5.4) и структуру табл. П.4.1.
2. В предположении одинаковости гарантийных и контрольных допусков на все контрольные параметры рассматриваемого варианта ФМ задаться границами a , b .
3. В предположении одинаковости нормальных законов распределения всех диагностических параметров и аддитивных центрированных погрешностей их измерения задаться величинами m_z , σ_z , σ_Δ и, рассчитав по ним величины x , k , kx , δ , определить из табл. П.4.1 величины $\alpha(\nu_1)$, $\alpha(\nu_2)$, $\beta(\nu_1)$, $\beta(\nu_2)$ и α_z , β_z – вероятности ошибок первого и второго рода при контроле параметров.
4. Полагая систему контроля работоспособности высоконадежной, а контроль работоспособности полным, по найденным величинам α , β и известной величине $P_{ОД}$ оценить показатели достоверности контроля работоспособности $P_{ЛО}$, $P_{НО}$, α , β , $D_{И}$, $D_{Н}$, $D_{Р}$.
5. Оценить показатели достоверности комбинационного поиска места отказа для одной из минимальных совокупностей.

6. Оценить показатели достоверности последовательного поиска места отказа для одной из построенных в лабораторной работе № 2 схем поиска.
7. Сравнить показатели достоверности и сделать выводы.
8. Оформить отчет по работе.

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

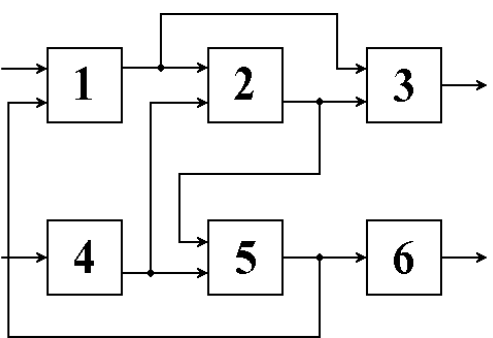
1. Расчетные соотношения, выбранные данные и результаты определения вероятностей ошибок первого и второго рода контроля диагностических признаков.
2. Расчетные соотношения и результаты расчетов показателей достоверности и контроля работоспособности.
3. Расчетные соотношения и результаты расчетов показателей достоверности комбинационного и последовательного поисков места отказа.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое ошибки первого и второго рода при контроле диагностических параметров?
2. От чего зависят вероятности ошибок при контроле диагностических параметров?
3. Какова методика определения вероятностей ошибок при нормальных распределениях параметров и погрешностей измерения? Какие допущения при этом используют?
4. Как оценить вероятности $P_{НО}^{изм}$, $P_{ЛО}^{изм}$ при контроле нескольких параметров?
5. Каковы показатели достоверности контроля работоспособности?
6. Какие выводы следуют из допущения высокой надежности системы контроля работоспособности?
7. Что означают записи $P(b_k|a_k)$, $P(a_k|b_k)$, $P(b_k|a_i)$, $P(b_k|\bar{a}_k)$, $P(\bar{b}_k|a_k)$?
8. Какие данные необходимы для расчетов $P(b_k|a_i)$, $P(b_k|a_k)$?

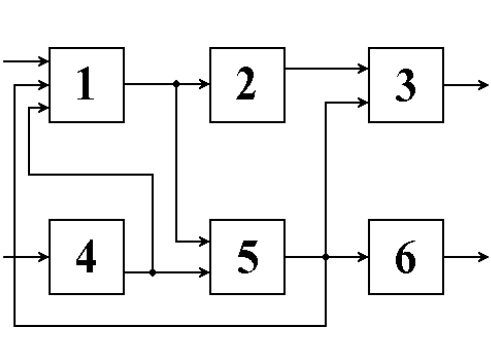
Варианты функциональных моделей и данные к ним

1



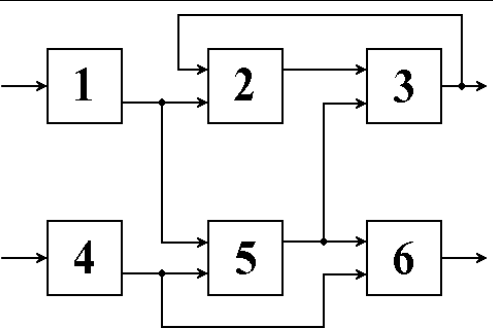
P	0.90	0.95	0.96	0.97	0.91	0.97
C	1	3	1	2	4	2

4



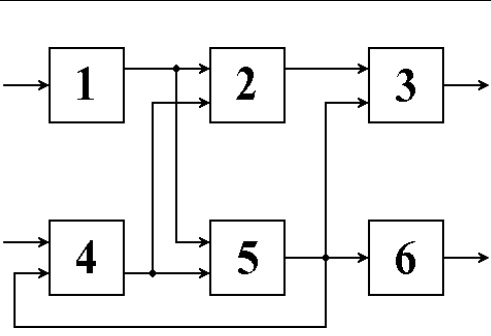
P	0.94	0.97	0.93	0.95	0.99	0.92
C	1	1	3	4	2	1

2



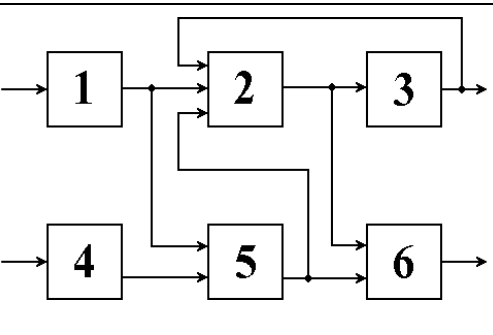
P	0.97	0.99	0.95	0.93	0.96	0.92
C	2	1	4	1	3	2

5



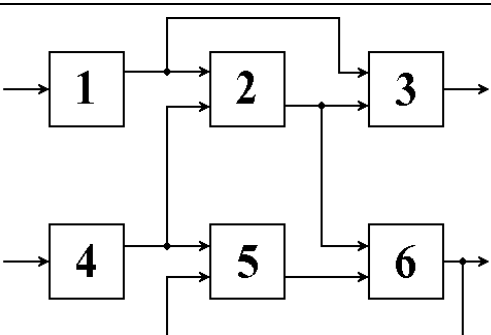
P	0.95	0.93	0.99	0.98	0.91	0.94
C	4	2	2	3	1	1

3

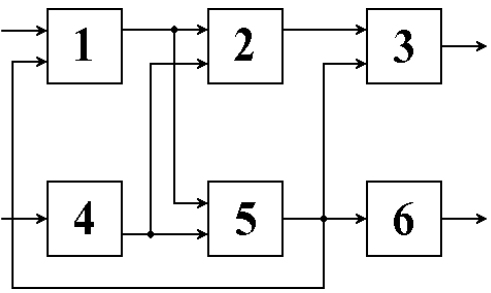


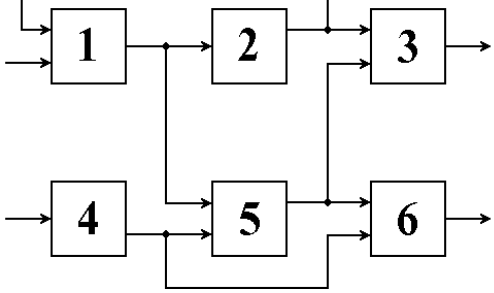
P	0.93	0.97	0.92	0.90	0.98	0.95
C	3	2	1	2	4	1

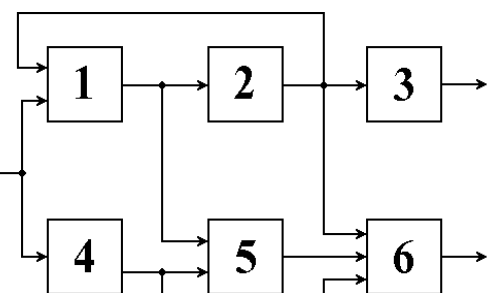
6

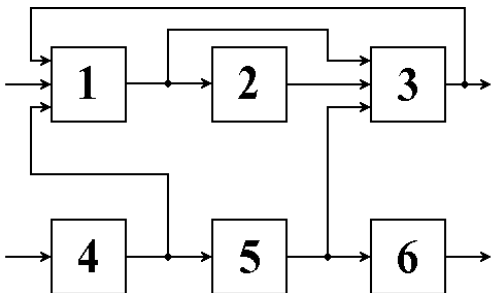


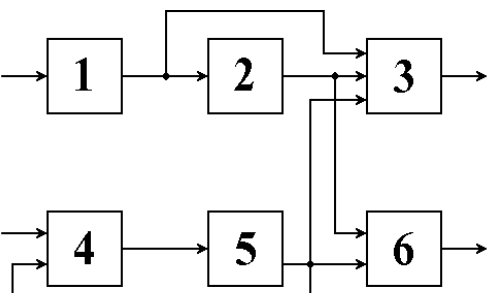
P	0.99	0.94	0.93	0.97	0.91	0.95
C	1	2	2	4	2	3

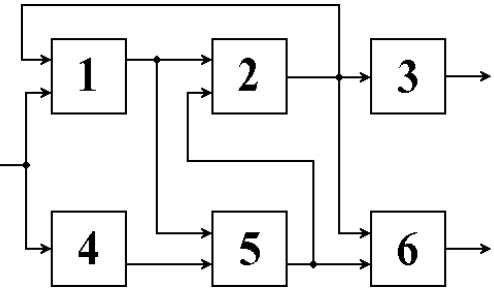
7							
	P	0.94	0.93	0.98	0.91	0.96	0.99
	C	3	2	1	1	4	2

10							
	P	0.93	0.92	0.98	0.96	0.99	0.94
	C	2	2	3	1	4	1

8							
	P	0.91	0.93	0.90	0.97	0.94	0.99
	C	4	3	1	2	1	3

11							
	P	0.95	0.99	0.92	0.94	0.96	0.91
	C	1	2	3	4	3	2

9							
	P	0.94	0.97	0.99	0.98	0.93	0.90
	C	4	3	2	1	2	3

12							
	P	0.96	0.91	0.90	0.97	0.93	0.99
	C	2	4	1	3	1	2

Приложение 2

Значения функции $H(P) = -P \log_2 P - \bar{P} \log_2 \bar{P}$

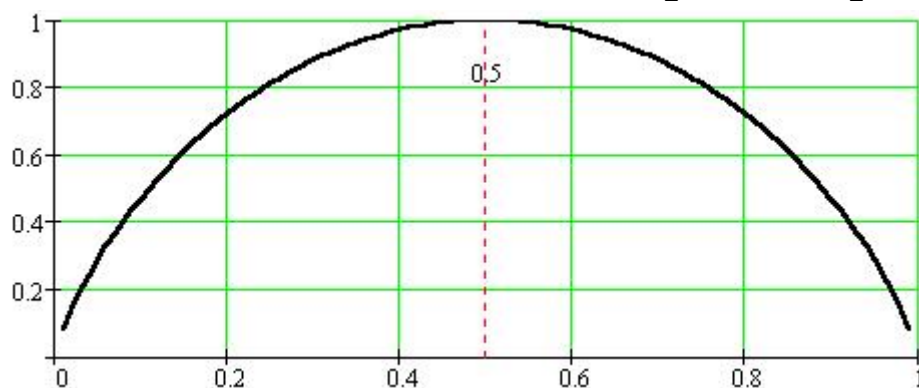


Рис. П.2.1

Таблица П.2.1

P	P	$H(P)$	P	P	$H(P)$
0.01	0.99	0.0808	0.26	0.74	0.8267
0.02	0.98	0.1414	0.27	0.73	0.8415
0.03	0.97	0.1944	0.28	0.72	0.8555
0.04	0.96	0.2423	0.29	0.71	0.8687
0.05	0.95	0.2864	0.30	0.70	0.8813
0.06	0.94	0.3274	0.31	0.69	0.8932
0.07	0.93	0.3659	0.32	0.68	0.9044
0.08	0.92	0.4022	0.33	0.67	0.9149
0.09	0.91	0.4365	0.34	0.66	0.9248
0.10	0.90	0.4690	0.35	0.65	0.9341
0.11	0.89	0.4999	0.36	0.64	0.9427
0.12	0.88	0.5294	0.37	0.63	0.9507
0.13	0.87	0.5574	0.38	0.62	0.9580
0.14	0.86	0.5842	0.39	0.61	0.9648
0.15	0.85	0.6098	0.40	0.60	0.9710
0.16	0.84	0.6343	0.41	0.59	0.9765
0.17	0.83	0.6577	0.42	0.58	0.9815
0.18	0.82	0.6801	0.43	0.57	0.9858
0.19	0.81	0.7015	0.44	0.56	0.9896
0.20	0.80	0.7219	0.45	0.55	0.9928
0.21	0.79	0.7415	0.46	0.54	0.9954
0.22	0.78	0.7602	0.47	0.53	0.9974
0.23	0.77	0.7780	0.48	0.52	0.9988
0.24	0.76	0.7950	0.49	0.51	0.9997
0.25	0.75	0.8113	0.50	0.50	1

Значения функции $f(q) = q \log_2 q$

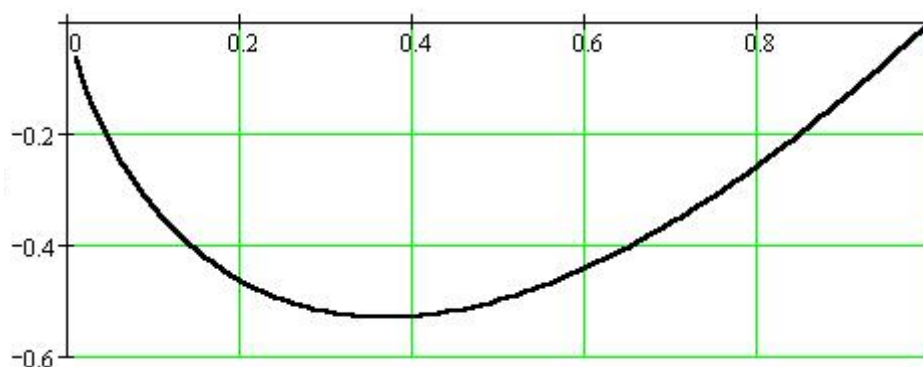


Рис. П.3.1

Таблица П.3.1

q	$F(q)$	q	$F(q)$	q	$F(q)$	q	$F(q)$
0.01	-0.0664	0.26	-0.5053	0.51	-0.4954	0.76	-0.3009
0.02	-0.1129	0.27	-0.510	0.52	-0.4906	0.77	-0.2903
0.03	-0.1518	0.28	-0.5142	0.53	-0.4854	0.78	-0.2796
0.04	-0.1858	0.29	-0.5179	0.54	-0.480	0.79	-0.2687
0.05	-0.2161	0.30	-0.5211	0.55	-0.4744	0.80	-0.2575
0.06	-0.2435	0.31	-0.5238	0.56	-0.4684	0.81	-0.2462
0.07	-0.2686	0.32	-0.5260	0.57	-0.4623	0.82	-0.2348
0.08	-0.2915	0.33	-0.5278	0.58	-0.4558	0.83	-0.2231
0.09	-0.3127	0.34	-0.5292	0.59	-0.4491	0.84	-0.2113
0.10	-0.3322	0.35	-0.5301	0.60	-0.4422	0.85	-0.1993
0.11	-0.3503	0.36	-0.5306	0.61	-0.435	0.86	-0.1871
0.12	-0.3671	0.37	-0.5307	0.62	-0.4276	0.87	-0.1748
0.13	-0.3826	0.38	-0.5305	0.63	-0.4199	0.88	-0.1623
0.14	-0.3971	0.39	-0.5298	0.64	-0.4121	0.89	-0.1496
0.15	-0.4105	0.40	-0.5288	0.65	-0.4040	0.90	-0.1368
0.16	-0.4230	0.41	-0.5274	0.66	-0.3956	0.91	-0.1238
0.17	-0.4346	0.42	-0.5256	0.67	-0.3871	0.92	-0.1107
0.18	-0.4453	0.43	-0.5236	0.68	-0.3783	0.93	-0.0974
0.19	-0.4552	0.44	-0.5211	0.69	-0.3694	0.94	-0.0839
0.20	-0.4644	0.45	-0.5184	0.70	-0.3602	0.95	-0.0703
0.21	-0.4728	0.46	-0.5153	0.71	-0.3508	0.96	-0.0565
0.22	-0.4806	0.47	-0.512	0.72	-0.3412	0.97	-0.0426
0.23	-0.4877	0.48	-0.5083	0.73	-0.3314	0.98	-0.0286
0.24	-0.4941	0.49	-0.5043	0.74	-0.3215	0.99	-0.0144
0.25	-0.50	0.50	-0.50	0.75	-0.3113	1.0	0.0

Приложение 4

Значения $\alpha(\nu)$, $\beta(\nu)$ в зависимости от ν и δ

Таблица П.4.1

ν	δ	$\alpha(\nu)$	$\beta(\nu)$	ν	δ	$\alpha(\nu)$	$\beta(\nu)$
1,00	0,02	0,0039098	0,0038130	2,50	0,40	0,0111178	0,0032606
1,00	0,04	0,0079161	0,0075293	2,50	0,45	0,0136690	0,0034689
1,00	0,06	0,0120189	0,0111493	3,00	0,02	0,0000735	0,0000681
1,00	0,08	0,0162172	0,0146735	3,00	0,04	0,0001527	0,0001314
1,00	0,10	0,0205104	0,0181026	3,00	0,06	0,0002383	0,0001902
1,00	0,15	0,0316502	0,0262663	3,00	0,08	0,0003307	0,0002448
1,00	0,20	0,0433503	0,0338613	3,00	0,10	0,0004306	0,0002956
1,50	0,02	0,0021060	0,0020283	3,00	0,15	0,0007174	0,0004083
1,50	0,04	0,0042918	0,0038811	3,00	0,20	0,0010669	0,0005029
1,50	0,06	0,0065598	0,0058603	3,00	0,25	0,0014930	0,0005833
1,50	0,08	0,0089102	0,0076683	3,00	0,30	0,0020119	0,0006520
1,50	0,10	0,0113464	0,0094073	3,00	0,35	0,0026430	0,0007108
1,50	0,15	0,0178201	0,0134675	3,00	0,40	0,0034077	0,0007618
1,50	0,20	0,0248570	0,0171452	3,00	0,45	0,0043299	0,0008061
1,50	0,25	0,0324709	0,0204750	3,00	0,50	0,0054355	0,0008448
1,50	0,30	0,0407130	0,0235184	3,50	0,02	0,0000146	0,0000133
2,00	0,02	0,0008835	0,0008404	3,50	0,04	0,0000305	0,0000256
2,00	0,04	0,0018124	0,0016396	3,50	0,06	0,0000479	0,0000368
2,00	0,06	0,0027886	0,0023995	3,50	0,08	0,0000670	0,0000471
2,00	0,08	0,0038144	0,0031223	3,50	0,10	0,0000879	0,0000667
2,00	0,10	0,0048921	0,0038096	3,50	0,15	0,0001498	0,0000774
2,00	0,15	0,0078276	0,0053848	3,50	0,20	0,0002283	0,0000944
2,00	0,20	0,0111359	0,0067758	3,50	0,25	0,0003284	0,0001087
2,00	0,25	0,0148511	0,0080062	3,50	0,30	0,0004566	0,0001206
2,00	0,30	0,0190058	0,0090967	3,50	0,35	0,0005773	0,0001289
2,00	0,35	0,0236292	0,0100653	3,50	0,40	0,0008294	0,0001393
2,50	0,02	0,0002887	0,0002711	3,50	0,45	0,0009576	0,0001467
2,50	0,04	0,0005961	0,0005259	3,50	0,50	0,0014330	0,0001531
2,50	0,06	0,0009235	0,0007653	3,50	0,55	0,0018555	0,0001587
2,50	0,08	0,0012724	0,0009905	3,50	0,60	0,0023874	0,0001637
2,50	0,10	0,0016440	0,0012022	4,00	0,02	0,0000022	0,0000020
2,50	0,15	0,0026828	0,0016790	4,00	0,04	0,0000047	0,0000039
2,50	0,20	0,0038986	0,0020898	4,00	0,06	0,0000075	0,0000055
2,50	0,25	0,0053195	0,0024454	4,00	0,08	0,0000106	0,0000075
2,50	0,30	0,0069752	0,0027545	4,00	0,10	0,0000140	0,0000085
2,50	0,35	0,0088973	0,0030241	4,00	0,15	0,0000240	0,0000115

Окончание табл. П.4.1

ν	δ	$\alpha(\nu)$	$\beta(\nu)$	ν	δ	$\alpha(\nu)$	$\beta(\nu)$
4,00	0,20	0,0000382	0,0000138	4,00	0,50	0,0003050	0,0000217
4,00	0,25	0,0000567	0,0000158	4,00	0,55	0,0004160	0,0000225
4,00	0,30	0,0000816	0,0000174	4,00	0,60	0,0005634	0,0000231
4,00	0,35	0,0001152	0,0000188	4,00	0,65	0,0007575	0,0000236
4,00	0,40	0,0001607	0,0000199	4,00	0,70	0,0010102	0,0000241
4,00	0,45	0,0002222	0,0000209				

Библиографический список

1. Воробьев В.Г., Глухов В.В., Козлов Ю.В. Диагностирование и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования: Учеб. пособие для вузов гражд. авиации /Под ред. И.М. Синдеева. – М.: Транспорт, 1984 – 191 с.
2. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
3. ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. – Введ. 01.01.96. – К.: Держстандарт України, 1995. – 33 с.
4. ДСТУ 2863-94. Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги. – Введ. 01.01.96. – К.: Держстандарт України, 1995. – 38 с.
5. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. – Введ. 01.01.95. – К.: Держстандарт України, 1994. – 24 с.
6. Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдуевский (предс.) и др. – М.: Машиностроение, 1987. – Т. 9. Техническая диагностика /Под общ. ред. В.В. Ключева, П.П. Пархоменко. – 352 с.
7. Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1990. – Т. 8. Эксплуатация и ремонт /Под ред. В.И. Кузнецова и Е.Ю. Борзиловича. – 320 с.
8. Сердаков А.С. Автоматический контроль и техническая диагностика. – К.: Техніка, 1971. – 244 с.

Содержание

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1 «Анализ логической модели объекта диагностирования»	7
Лабораторная работа № 2 «Выбор параметров и синтез алгоритмов контроля работоспособности объекта диагностирования»	21
Лабораторная работа № 3 «Выбор параметров и синтез алгоритмов поиска места отказа объекта диагностирования»	33
Лабораторная работа № 4 «Изучение основных методов логической обработки информации в автоматических системах диагностирова- ния»	44
Лабораторная работа № 5 «Оценка достоверности технического диагностирования ЭС»	51
Приложение 1	61
Приложение 2	63
Приложение 3	64
Приложение 4	65
Библиографический список	67

Бабаков Михаил Федорович
Ельцов Павел Евгеньевич
Луханин Михаил Иванович

МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Редактор А.Н. Емленинова

Св. план, 2003

Подписано в печать 11.06.2003

Формат 60×84/16. Бум. офс. № 2. Офс. печ.

Усл. печ. л. 3,8. Уч.-изд. л. 4,31. Т. 100 экз. Заказ 273 Цена свободная

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского

"Харьковский авиационный институт"

61070, Харьков–70, ул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Издательский центр "ХАИ"

61070, Харьков–70, ул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu