

Министерство образования Российской Федерации  
Дальневосточный государственный технический университет  
им. В.В. Куйбышева

Л.И. Токмакова

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

Учебное пособие  
для студентов специальности 1804  
Часть 2

Владивосток  
2007

Издано по решению Редакционно-издательского совета ДВГТУ

ББК 32

УДК 621.30

Токмакова Л.И. Системы управления электроприводов (Часть 2): Учеб. пособие для вузов: В 2ч. Ч2. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – с: ил.

В учебном пособии даны методы логического проектирования управляющих логических устройств как комбинационного, так и последовательностного типа, являющихся составной частью большого числа систем управления электроприводов, показаны приемы схемной реализации, сформированы задания для практических занятий с примерами решения.

Уделяется внимание вопросам технической диагностики управляющих логических устройств: основным понятиям и методам построения проверяющих и диагностических тестов с использованием точных - на базе таблиц функций неисправностей (ТФН) и приближенных - на базе эквивалентной нормальной формы (ЭНФ) методов, позволяющих облегчить наладку и поиск дефектов логических устройств при их эксплуатации.

Учебное пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению «Электромеханика, электротехника и электротехнологии». Может быть полезно для специалистов, занимающихся проектированием и наладкой устройств, базирующихся на интегральных микросхемах и других логических элементах.

Рецензенты: О.В. Абрамов, зав. лабораторией управления надежностью сложных систем Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН;

В.П. Кривошеев, профессор кафедры компьютерных технологий и систем ВГУЭС, д-р техн. наук, профессор.

с Л.И. Токмакова

с

ISBN

Изд-во ДВГТУ, 2007

## СОДЕРЖАНИЕ

- 2. Диагностика управляющих логических устройств
- 2.1. Основные понятия технической диагностики.
- 2.2. Характерные неисправности дискретного объекта.
- 2.3. Математические модели неисправностей.
- 2.4. Методы построения тестов.
- 2.4.1. Общие сведения о методах построения тестов.
- 2.4.2. Построение тестов методом таблиц функций неисправностей.
- 2.4.3. Построение тестов методом существенных путей.
- 2.4.4. Построение тестов методом существенных путей с использованием эквивалентной нормальной формы.
- 2.4.5. Построение тестов для схем с обратными связями.
- 2.5. Практические занятия.
- Библиографический список.

## 2. ДИАГНОСТИКА УПРАВЛЯЮЩИХ ЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

### 2.1. Основные понятия технической диагностики

*Техническая диагностика* определяется как область знаний, охватывающая теорию, методы и средства, при помощи которых дается заключение о техническом состоянии объектов диагноза.

Целью технической диагностики является определение *технического состояния* объекта диагноза, так как от технического состояния объекта зависит правильность его работы. При этом техническое состояние означает степень соответствия узла, агрегата, изделия, системы *техническим условиям*, представляющим собой совокупность определяемых технической документацией требований к узлу, агрегату, системе. Узел, агрегат, изделие, система, техническое состояние которых подлежит определению, называют *объектом диагноза*.

Под *диагнозом технического состояния* подразумевают получение сведений о техническом состоянии, в котором находится объект диагноза.

Физическая величина, характеризующая техническое состояние объекта диагноза, называется *параметром объекта диагноза*.

Технические средства, при помощи которых осуществляется диагноз технического состояния объекта, называют *средствами диагноза*.

Диагноз технического состояния объекта заключается в определении его ответов на различные входные воздействия. Воздействие, специально организованное для целей диагноза технического состояния и подаваемое на объект диагноза от средств диагноза, называется *тестовым воздействием*.

Различают контрольные (проверяющие) и диагностические тесты. *Контрольным тестом* называется совокупность наборов входных воздействий, позволяющих осуществить проверку исправности или работоспособности объекта. *Диагностическим тестом* называют совокупность наборов входных воздействий, позволяющих произвести поиск неисправности, т.е. определить место повреждения объекта диагноза.

Число наборов входных воздействий, составляющих тест, называется *длиной теста*. Тест, содержащий минимальное число наборов входных воздействий, необходимых для проверки работоспособности объекта диагноза или обнаружения неисправности, называется *минимальным*. Тест, содержащий все возможные наборы входных воздействий, называется *тривиальным*.

По значениям выходных сигналов судят о техническом состоянии диагностируемого объекта.

Объект диагноза и средства диагноза, взаимодействующие между собой, образуют *систему диагноза*.

*Проверка исправности* объекта представляет собой процесс выполнения операций над объектом диагноза, позволяющим убедиться либо в том, что объект исправен, либо, наоборот, в том, что он неисправен.

*Поиск неисправности* заключается в выполнении операций над объектом диагноза, позволяющих указать имеющуюся в объекте неисправность или несколько возможных неисправностей, в число которых она входит.

Тестовые воздействия могут подаваться как на рабочие входы объекта диагноза, так и на специально организованные для целей диагноза технического состояния *дополнительные входы* объекта диагноза.

Параметры, используемые для диагноза технического состояния, называются *контролируемыми параметрами*, а выходы объекта диагноза, в которых измеряются контролируемые параметры, называются *контрольными точками*.

## **2.2. Характерные неисправности дискретного объекта**

*Неисправность объекта диагноза* определяется как следствие явлений или действий, вызывающих переход объекта в неисправное состояние.

На рисунке 2.1 приведена структурная схема, иллюстрирующая класси-фикацию неисправностей. Ниже поясняются отдельные виды неисправ-ностей.

*Обычная неисправность* - одна возможная неисправность, обычно возникающая в процессе эксплуатации.

*Кратные неисправности* - одновременно существующие несколько одиночных неисправностей. Кратные неисправности обычно встречаются в стадии наладки схем и при длительном хранении объектов.

*Устойчивая неисправность* - неисправность не исчезающая до ее устранения.

*Неустойчивая неисправность* - временная неисправность, то возникающая, то исчезающая, например, проскакивание искр и т.п.

*Произвольные неисправности* - неисправности произвольного вида.

*Специальные неисправности* - неисправности вида “константа 1”, “константа 0” и т.п.

*Детерминированные неисправности* - полностью определенные неисправности.

*Стохастические неисправности* - неисправности, определенные с некоторой вероятностью.

Существующие методы технической диагностики в основном позволяют эффективно рассматривать лишь неисправности,

соответствующие левому столбцу схемы на рис. 1, т.е. одиночные устойчивые детерминированные неисправности вида "константа 1" или "константа 0" (постоянное отсутствие или постоянное присутствие сигнала в месте неисправности).

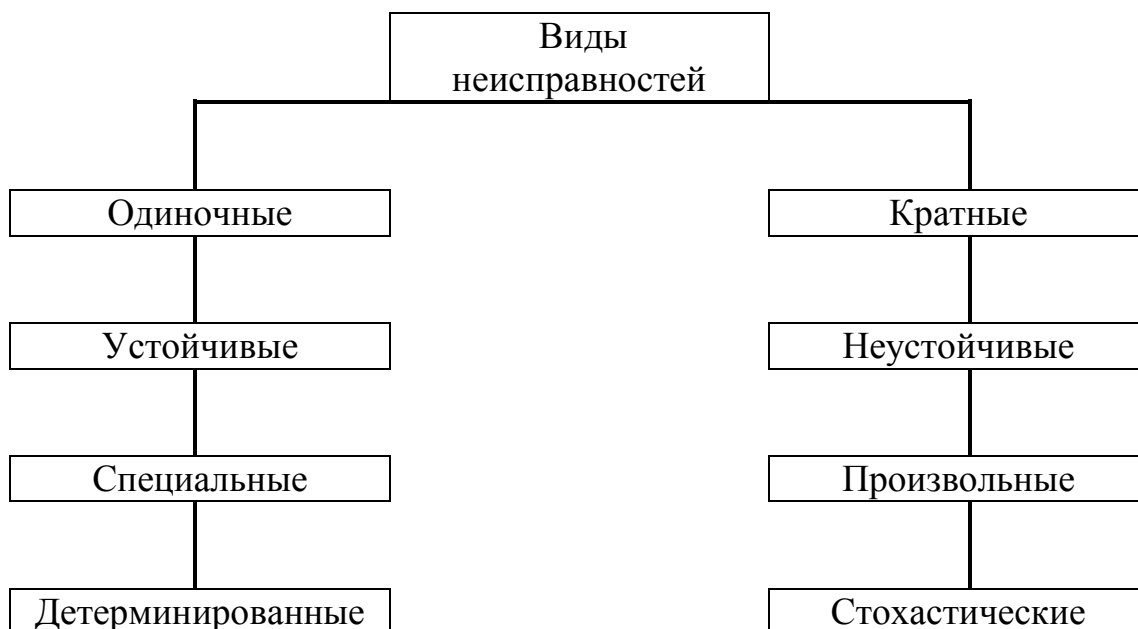


Рис.1. Классификация неисправностей.

Дальнейшее изложение относится в основном к такому виду неисправностей. Введем некоторые обозначения, относящиеся к неисправностям. Пусть на каждом входе исправно работающего логического элемента и на его выходе сигнал может иметь значение 0 или 1.

В этом случае возможны неисправности трех типов:

при любом наборе на входах элемента сигнал на выходе постоянно имеет значение 0;

при любом наборе на входах элемента сигнал на выходе постоянно имеет значение 1;

на каком-либо входе элемента сигнал постоянно имеет значение 0 или 1.

Неисправность обозначается буквой  $S$ . Далее принимаются следующие обозначения:

$S_i - 1$  - неисправность вида 1 выхода  $i$ -го элемента;

$S_i - 0$  - неисправность вида 0 выхода  $i$ -го элемента;

$S_{i(j)} - 1$  - неисправность вида 1  $j$ -го входа  $i$ -го элемента;

$S_{i(j)} - 0$  - неисправность вида 0  $j$ -го входа  $i$ -го элемента.

Например, для элемента под номером 1, имеющего три входа, можно записать следующий перечень неисправностей:

$S_1 - 0$  - неисправность вида 0 выхода элемента;

$S_1 - 1$  - неисправность вида 1 выхода элемента;

для неисправностей входов:

$S_{1(1)} - 0; S_{1(2)} - 0; S_{1(3)} - 0;$

$S_{1(1)} - 1; S_{1(2)} - 1; S_{1(3)} - 1.$

Неисправности внутри элемента в данном случае не учитываются, существенны лишь значения сигнала на входах и выходе элемента.

Число неисправностей одного одновыходного элемента в этом случае будет равно  $2n + 2$ , где  $n$  - число входов элемента. Для схемы, состоящей из  $N$   $n$  - входных элементов, число неисправностей равно:

$$(2n + 2) N.$$

Неисправности подразделяются на различимые и неразличимые. Две неисправности называются *различимыми*, если существуют различные входные воздействия, при которых эти неисправности изменяют состояние сигнала на контролируемом выходе с правильного на неправильное. Неисправности называются *неразличимыми*, если они проявляются (обнаруживаются) только при одинаковых входных воздействиях.

### 2.3. Математические модели неисправностей

В качестве математических моделей неисправностей используются логические функции неисправностей:  $Y^* (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , представляющие собой алгебраические выражения, описывающие функционирование объекта диагноза при наличии неисправности, таблицы функций неисправностей (ТФН), а также модели конечных автоматов.

ТФН - это прямоугольная таблица, строки которой соответствуют наборам (входным воздействиям), а столбцы - исправному и каждому из неисправных состояний объекта диагноза. На пересечении  $i$ -той строки и  $j$ -го столбца в ТФН указывается значение выходного сигнала, когда на объект подано  $i$ -е воздействие и он находится в  $j$ -м состоянии. Пример ТФН приведен в таблице 2.1.

По ТФН легко получить таблицу покрытий, которая в дальнейшем будет использоваться для получения минимальных тестов. Если при подаче на входы объекта  $i$ -го набора и при наличии в объекте  $j$ -й неисправности значение выходного сигнала будет инверсно значению, ожидаемому при отсутствии неисправности, то в клетке таблицы покрытий на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца проставляется 1. В этом случае

говорят, что данный набор обнаруживает или проявляет эту неисправность.

В таблице 2.2 приведена таблица покрытий для логического элемента ИЛИ на три входа ( $n=3$ ). Число ее строк равно  $2^n=2^3=8$ ; число столбцов  $(2n + 2) = 8$ .

**Таблица 2.1**

**Пример таблицы функций неисправностей**

Номер набора	Входные переменные				Выходная переменная						
					Исправное состояние	Неисправные состояния					
	a	b	c	d		$j_0$	$j_1$	$j_2$	$j_3$	$j_4$	...
$i_1$	0	1	0	1	1	0	1	0	1	...	0
$i_2$	0	1	1	1	1	1	0	0	0	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$i_m$	1	1	0	1	0	1	0	1	0	...	0

Для набора 1 на выходе элемента при его исправном состоянии должен быть 0, поэтому в тех клетках, где значение сигнала на выходе при данных неисправностях будут равны 1, нужно поставить 1 (неисправность  $S_{1(1)-1}$ ,  $S_{1(2)-1}$ ,  $S_{1(3)-1}$ ,  $S_{1-1}$ ). В клетках столбца  $S_{1-0}$  для наборов 2 - 8 нужно поставить 1, так как нормальное значение выходного сигнала должно быть равно 1, а при этой неисправности оно равно 0. Аналогично в клетках набора 5 при неисправности  $S_{1(1)} - 0$ , набора 3 - при неисправности  $S_{1(2)} - 0$  и набора 2 - при неисправности  $S_{1(3)} - 0$  проставляется 1, так как значения сигналов на выходе в исправном состоянии должны быть равны 1, а не 0, что имеет место при наличии каждой из этих неисправностей.

**Таблица 2.2**

**Таблица покрытий для трехвходового логического элемента ИЛИ**

Номер набора	Сигналы				Неисправности							
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Y	$S_{1(1)-0}$	$S_{1(1)-1}$	$S_{1(2)-0}$	$S_{1(2)-1}$	$S_{1(3)-0}$	$S_{1(3)-1}$	$S_{1-0}$	$S_{1-1}$
1	0	0	0	0		1		1		1		1



2	0	0	1	1					1		1	
3	0	1	0	1			1				1	
4	0	1	1	1							1	
5	1	0	0	1	1						1	
6	1	0	1	1							1	
7	1	1	0	1							1	
8	1	1	1	1							1	

## 2.4. Методы построения тестов

### 2.4.1. Общие сведения о методах построения тестов

Методы построения тестов можно разделить на два класса, один из которых содержит методы, непосредственно использующие таблицы функций неисправностей, а второй - методы определения существенных путей. Оба класса методов могут давать как точные, так и приближенные решения.

*По таблице функций неисправностей* строится таблица покрытий, кратчайшее покрытие которой соответствует тесту минимальной длины. Получение кратчайшего покрытия может быть достигнуто известным алгебраическим преобразованием  $\Sigma\Pi \rightarrow \Pi\Sigma$ . Метод с использованием ТФН является общим методом, пригодным для любых объектов и для любых неисправностей. Однако построение, обработка и хранение ТФН требует значительных объемов вычислений и памяти, что делает невозможным применение этого метода для задач большой размерности (с большим числом переменных и неисправностей).

*Методы существенных путей* хорошо приспособлены к получению приближенных решений и малоприспособлены для получения точных решений. Они в определенной степени позволяют обойти те трудности, которые появляются при применении методов с использованием ТФН.

В основе метода существенных путей применительно к решению задач проверки исправности лежит следующее очевидное условие: данная неисправность объекта диагноза будет обнаружена, если найдется такой набор, подача которого на входы объекта диагноза установит последний в такое состояние, при котором изменение параметров объекта, вызванное данной неисправностью, приведет к изменению значений контролируемых сигналов. Иными словами, найдется такой набор, который делает *существенным* путь от места неисправности до хотя бы одного контролируемого выхода.

Здесь предварительное построение ТФН не обязательно, она может быть получена после построения тестов. При этом ТФН, как правило, по

размерам получается значительно меньше, чем ТФН, построенная для всех возможных входных воздействий.

Разновидностью метода существенных путей является метод с использованием ЭНФ (эквивалентной нормальной формы), предназначенный для обнаружения неисправности типа “константа 1” и “константа 0” в комбинационных схемах, состоящих из логических элементов И, ИЛИ, НЕ-И, НЕ-ИЛИ, НЕ, И-ИЛИ-НЕ и не имеющих логической избыточности. (Схема имеет логическую избыточность, если в ней имеются связи, обрыв которых не вызывает изменения выходного сигнала при любом входном наборе.)

В этом методе алгебраическое выражение, описывающее исходную схему, приводится к эквивалентной нормальной форме (ЭНФ), представляющей собой логическую сумму логических произведений входных переменных или их инверсий с индексами, указывающими путь прохождения сигнала от входа схемы к ее выходу. Построение тестов в этом методе производится по ЭНФ или ОЭНФ (обратной ЭНФ), получаемой путем инвертирования ЭНФ.

Все методы построения тестов, как правило, предусматривают следующие этапы: подготовка исходной документации; построение контрольных тестов для отдельных узлов и подсхем; построение диагностических тестов для отдельных узлов и подсхем; склеивание тестов узлов и подсхем с целью получения обобщенного контрольного или диагностического теста.

Некоторые методы требуют предварительного построения таблицы функции неисправностей.

В подготовку исходной документации обычно входят: разбивка схемы на одновыходные подсхемы и разбивка последних в случае необходимости на более мелкие части, отдельные узлы; определение дополнительных контрольных точек схемы в местах обрыва внешних обратных связей.

При разбивке схемы на подсхемы и узлы для облегчения в дальнейшем процесса склеивания тестов можно руководствоваться следующими правилами:

- разбивка на подсхемы ведется в направлении от входов схемы к ее выходам;

- подсхемы желательно обрывать перед местами разветвлений;

- выделяемые схемы должны быть одновыходными;

- желательно, чтобы вход подсхемы был бы либо выходом схемы, либо входом узла или элемента памяти;

- элементы и узлы памяти желательно выделять в отдельные подсхемы;

- входами подсхемы могут быть независимые переменные схемы, выходы элементов или узлов памяти и выходы других подсхем;

общая часть схемы, управляющая функциональными блоками, выделяется в отдельную подсхему.

#### **2.4.2. Построение тестов методом таблиц функций неисправностей**

Большинство существующих методов построения тестов разработано для комбинационных схем. Поэтому на подготовительном этапе последовательностные схемы, как правило, приводятся к комбинационным. Для этого обрываются внешние обратные связи и к набору входных переменных добавляются внутренние (промежуточные) переменные, соответствующие этим обратным связям. Если в схеме присутствуют триггеры или обратные связи, которые сложно обрывать, то рекомендуется пользоваться методом существенных путей.

Построение тестов методом ТФН при учете лишь одиночных неисправностей производится в следующем порядке:

на схеме устройства намечаются места возможных неисправностей (рисунок 2.2);

составляется таблица неисправностей, включающая перечень неисправностей и их значений (таблица 2.3);

строится таблица функций неисправностей (ТФН) для одиночных неисправностей;

строится таблица пар функций  $\varphi_0, \varphi_j$ , представляющая собой таблицу покрытий, где  $\varphi_0$  - функция исправного объекта;  $\varphi_j$  - функция неисправного объекта, при неисправности, определяемой индексом  $j$ ;

строится таблица покрытий для пар функций  $\varphi_i, \varphi_j$ , где  $i \neq j$ , т.е. производится перебор всех возможных различимых между собой неисправностей;

определяется контрольный тест по данным таблицы покрытий пар функций  $\varphi_0, \varphi_j$ ;

определяется диагностический тест по данным таблицы покрытий пар функций  $\varphi_0, \varphi_j$ ;

строится сокращенная ТФН, т.е. таблица, по которой будет испытываться объект при поиске неисправностей.

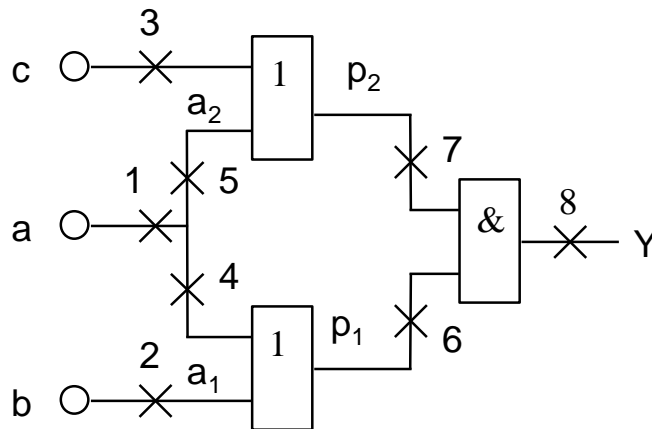


Рис. 2.2. Разметка мест возможных неисправностей

**Пример:** на рисунке 2.2 дана схема устройства, для которого должны быть построены контрольный и диагностический тесты.

Возможные места неисправностей отмечаются цифрами 1- 8.

Составляется таблица неисправностей, приведенная в таблице 2.3. С этой целью по схеме рисунке 2.2 составляется алгебраическое выражение для выходного сигнала  $Y$ :

$$Y = P_1 P_2 = \bar{a}_1 \bar{b} (a_2 + c).$$

При числе мест неисправностей, равном 8, число значений неисправностей может быть равным 16, так как в каждом месте любая из возможных неисправностей может иметь значение 0 или 1.

Для определения алгебраического выражения функции неисправности в формулу подставляется значение переменной в соответствующем узле. Так, - например, для узла 1 при значении неисправности  $a = 1$  переменные в узле будут иметь значения  $a_1 = 1$  и  $a_2 = 1$ . При этом  $\bar{a} = 0$ , а следовательно,  $Y_{1-1} = 0$ , так как  $\bar{a}$  входит в выражение  $Y$  в виде множителя ( $Y_{1-1}$  означает, что функция  $Y$  вычисляется при наличии в узле 1 неисправности типа "1"). При неисправности  $a = 0$  переменные в узле будут иметь значения  $a_1 = 0$ ,  $a_2 = 0$ ,  $\bar{a}_1 = 1$ . Подставив значения  $\bar{a}_1$  и  $a_2$  в выражение  $Y$  получим:

$$Y_{1-0} = \bar{a}_1 \bar{b} (a_2 + c) = 1 \bar{b} (0 + c) = \bar{b} c.$$

Составляется таблица функций неисправностей, приведенная в таблице 2.4 для всех возможных наборов значений входных переменных.

Таблица 2.3

Таблица неисправностей к схеме рис. 2.2

Номер узла	Неисправность	Переменная в	Функция
------------	---------------	--------------	---------

		узле	неисправности
1	1	$a_1 = 1, a_2 = 1$	$Y_{1-1} = 0$
	0	$a_1 = 0, a_2 = 0$	$Y_{1-0} = \bar{bc}$
2	1	$b = 1$	$Y_{2-1} = 0$
	0	$b = 0$	$Y_{2-0} = \bar{ac}$
3	1	$c = 1$	$Y_{3-1} = \bar{ab}$
	0	$c = 0$	$Y_{3-0} = 0$
4	1	$a_1 = 1, a_2 = \text{var}$	$Y_{4-1} = 0$
	0	$a_1 = 0, a_2 = \text{var}$	$Y_{4-0} = ab + cb$
5	1	$a_2 = 1, a_1 = \text{var}$	$Y_{5-1} = \bar{ab}$
	0	$a_2 = 0, a_1 = \text{var}$	$Y_{5-0} = \bar{abc}$
6	1	$p_1 = 1$	$Y_{6-1} = a + c$
	0	$p_1 = 0$	$Y_{6-0} = 0$
7	1	$p_2 = 1$	$Y_{7-1} = ab$
	0	$p_2 = 0$	$Y_{7-0} = 0$
8	1	$Y = 1$	$Y_{8-1} = 1$
	0	$Y = 0$	$Y_{8-0} = 0$

Порядок заполнения этой таблицы рассмотрим на примере для функции  $\varphi_8(Y_{4-0})$  с неисправностью 4-0 ("0" в узле 4) при наборе 4, содержащем следующие значения переменных:  $a = 1; b = 0; c = 0$ . При этом  $Y = \varphi_0 = 0$ .

Из таблицы 2.3 выражение функции неисправности в этом случае имеет вид:

$$\varphi_8 = Y_{4-0} = \bar{ab} + c\bar{b}.$$

Подставляя значения переменных из набора 4, получаем:

$$\varphi_8 = 1 * 1 + 0 * 1 = 1.$$

Полученное значение  $\varphi_8 = 1$  проставляется в клетке таблицы 2.4, соответствующей набору 4 и  $\varphi_8$ .

Анализируя табл. 2.4, находим различимые, неразличимые, обнаруживаемые и необнаруживаемые неисправности.

Сравнивая  $\varphi_{10}$  и  $\varphi_0$ , находим, что  $\varphi_{10} = \varphi_0$ , т.е. неисправность вида  $\varphi_{10}$  относится к классу необнаруживаемых неисправностей.

К классу обнаруживаемых, но не различимых между собой, относятся неисправности, соответствующие функциям

$$\varphi_1, \varphi_3, \varphi_6, \varphi_7, \varphi_{12}, \varphi_{14}, \varphi_{16}.$$

Таблица 2.4

Таблица функций неисправностей

	Функции	Функции
--	---------	---------

Номер набора	Входные переменные			я исправной схемы	неисправностей					
					$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	$\Phi_4$	$\Phi_5$	$\Phi_6$
	a	b	c	$Y = \Phi_0$	$Y_{1-1}$	$Y_{1-0}$	$Y_{2-1}$	$Y_{2-0}$	$Y_{3-1}$	$Y_{3-0}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы 2.4

Номер набора	Функции неисправности									
	$\Phi_7$	$\Phi_8$	$\Phi_9$	$\Phi_{10}$	$\Phi_{11}$	$\Phi_{12}$	$\Phi_{13}$	$\Phi_{14}$	$\Phi_{15}$	$\Phi_{16}$
	$Y_{4-1}$	$Y_{4-0}$	$Y_{5-1}$	$Y_{5-0}$	$Y_{6-1}$	$Y_{6-0}$	$Y_{7-0}$	$Y_{7-0}$	$Y_{8-1}$	$Y_{8-0}$
0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
4	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
5	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0

Не различимым между собой неисправностям соответствуют также функции  $\Phi_5, \Phi_9, \Phi_{13}$ .

Строится таблица покрытий для пар функций  $\Phi_0 \Phi_j$ .

Таблица 2.5 составлена на основе таблицы 2.4. Из всех не различимых между собой функций оставляют лишь по одной из каждой группы, а остальные во внимание не принимаются.

Так, например, из указанных функций

$$\Phi_1, \Phi_3, \Phi_6, \Phi_7, \Phi_{12}, \Phi_{14}, \Phi_{16}$$

оставлена только одна функция  $\Phi_1$ . Из группы функций  $\Phi_5, \Phi_9, \Phi_{13}$  оставлена только функция  $\Phi_5$ . Из неразличимых функций  $\Phi_0$  и  $\Phi_{10}$  исключена функция  $\Phi_{10}$ .

Таким образом, остается всего семь столбцов из приведенных в таблице 2.4, а именно

$\Phi_1, \Phi_2, \Phi_4, \Phi_5, \Phi_8, \Phi_{11}, \Phi_{15}$ .

Далее, сравнивая построчно значения функций в каком-либо столбце со значениями функции  $\Phi_0$ , проставляем 1 в тех клетках, для которых эти значения не совпадают.

Контрольный тест строится на основе таблицы покрытий, по которой получается алгебраическое выражение в виде  $\Pi\Sigma$ . Для построения теста производилось преобразование  $\Pi\Sigma \rightarrow \Sigma\Pi$ , т.е. логическое произведение логических сумм преобразуется в сумму произведений.  $\Pi\Sigma$  получается следующим образом: составляются логические суммы, число которых определяется числом столбцов таблицы покрытий, а число слагаемых в каждой сумме определяется для соответствующего этой сумме столбца числом клеток, содержащих 1.

В качестве логических слагаемых каждой суммы записываются условные номера наборов тех строк, в которых клетки данного столбца содержат 1. Затем суммы объединяются операцией логического произведения.

По таблице 2.5

$$\Pi\Sigma = 1 * 5 * 3 * 0 * (4+5) * (3+4+5+6+7) * (0+2+3+4+5+6+7).$$

Для того, чтобы перейти от  $\Pi\Sigma$  к  $\Sigma\Pi$ , надо выполнить алгебраические действия, раскрыв скобки и применив равносильные преобразования вида  $aa = a$  и  $a + aA = a$ .

В результате получено:

$$\Sigma\Pi = 1 * 5 * 3 * 0.$$

В данном примере получено одно произведение, однако может быть получена  $\Sigma\Pi$ , состоящая из нескольких членов. В этом случае из них следует выбирать наименьший по числу букв, определяющий наименьшее число строк. В рассматриваемом варианте это будут строки 0, 1, 3, 5.

Совокупность наборов, соответствующая минимальному числу строк, имеющих единицы в совокупности во всех столбцах такой таблицы покрытий, называется *минимальным контрольным тестом*. Для таблиц небольших размеров такая совокупность наборов иногда может быть найдена визуально без использования преобразования  $\Pi\Sigma \rightarrow \Sigma\Pi$ .

Контрольный тест, представляющий собой совокупность наборов, позволяющую проверить исправность устройства, выделен в таблице 2.6 прямоугольником.

**Таблица 2.5**

**Таблица покрытий для пар функций  $\Phi_0, \Phi_j$**

Номер набора	Входные переменные			$\Phi_0 \Phi_j$						
	a	b	c	0.1	0.2	0.4	0.5	0.8	0.11	0.15

0	0	0	0				1			1
1	0	0	1	1						
2	0	1	0							1
3	0	1	1			1			1	1
4	1	0	0					1	1	1
5	1	0	1		1			1	1	1
6	1	1	0						1	1
7	1	1	1						1	1

Таблица 2.6

### Контрольный тест

Номер набора	Входные переменные			$\varphi_0$	Функции неисправностей							
	a	b	c		$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_4$	$\varphi_5$	$\varphi_8$	$\varphi_{11}$	$\varphi_{15}$	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
3	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
5	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1

Если в устройстве предполагается возможность наличия кратных неисправностей, то контрольный тест следует строить в следующем порядке:

на схеме устройства намечаются места возможных неисправностей;

составляется таблица неисправностей, включающая в себя перечень одиночных и возможных кратных (двукратных, трехкратных и т.д.) неисправностей и их значений, таблица типа таблицы 2.3 расширится по числу строк, т.е. добавятся строки, соответствующие сочетаниям неисправностей, например сочетание неисправностей "в узле 6-1" и в "узле 1-0" дает выражение функции неисправности:

$$Y_{6-1} = c;$$

строится ТФН для одиночных и кратных неисправностей;

строится таблица покрытий для пар функций  $\varphi_0, \varphi_j$ , где под  $\varphi_j$  понимаются столбцы ТФН, соответствующие как одиночным, так и кратным неисправностям;

по таблице покрытий строится контрольный тест.

Проверка исправности устройства производится следующим образом. На входы устройства подают наборы значений сигналов, указанные в контрольном тесте. Если значения функции отличаются от



значений  $\varphi_0$ , указанных в таблице 2.1, то в устройстве имеется неисправность.

*Диагностический тест* представляет собой совокупность наборов, позволяющих указать место и вид неисправности в устройстве.

Для составления диагностического теста предварительно составляется таблица покрытий (таблица 2.7), столбцы которой соответствуют парам различных неисправностей. Заполнение таблицы 2.7 производится путем построчного сравнения пар функций различных неисправностей таблицы 2.4. В клетке, соответствующей строке, где значения этих функций не совпадают, проставляется 1.

Сравним по таблице 2.4 значения какой-либо пары функций неисправностей, например  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ . На наборах 1 и 5 значения функций неисправностей не совпадают, поэтому в таблице 2.7 в клетках, соответствующим этим наборам, в столбце 1-2 проставляется 1. Аналогично для неисправностей 1-4 ( $\varphi_1$ ,  $\varphi_4$ ) несовпадение значений функций неисправностей имеет место на выборах 1 и 3 и т.д.

Для определения диагностического теста нужно найти такую совокупность наборов (строк), чтобы она содержала единицы в совокупности во всех столбцах. Для этой цели можно применить преобразование ПС  $\rightarrow$   $\Sigma$ П, рекомендованное при рассмотрении процесса построения контрольного теста. Однако этот способ применительно к построению диагностического теста требует громоздких преобразований, а поэтому применяется лишь в тех случаях, когда имеется необходимость получения точного (минимального) решения.

На практике часто нет необходимости стремиться к получению минимального теста, достаточно иметь близкий к минимальному (минимизированный). Получение такого теста значительно проще. Рассмотрим один из способов получения минимизированного теста.

К таблице 2.7 добавляется несколько заполняемых в определенной последовательности столбцов  $a_1, a_2, a_3, a_4$ , в которых отмечается поэтапно число единиц в каждой строке. В клетках столбца  $a_1$  проставлено число единиц в каждой строке в начале решения. Выбирается одна из строк, содержащая наибольшее число единиц. В данном случае 12 единиц имеют строки 3, 4, 5, т.е.  $a_{1\max} = 12$ . Выбирается любая из этих строк, например строка 4. Затем вычеркиваются все столбцы, содержащие 1 в строке 4. Их будет 12.

В столбце  $a_2$  проставлено число единиц, оставшихся в строках таблицы после вычеркивания столбцов. Далее снова выбирается строка с наибольшим числом невычеркнутых единиц. Можно выбрать строки под номерами 0 или 3, для которых  $a_{2\max} = 5$ . В данном примере принимается строка 3 и вычеркиваются столбцы, содержащие 1 в строке 3. Далее проставляется в столбце  $a_3$  число единиц, оставшихся в соответствующих строках, и снова выбирается строка, содержащая наибольшее число

единиц. В данном случае это будет строка 0, для которой  $a_{3\text{макс}} = 3$ . Наконец, аналогично находится  $a_{4\text{макс}} = 1$  в строках 1 и 5. Выбирается строка 1 (все столбцы вычеркнуты).

Таким образом, получена совокупность строк 0, 1, 3, 4, формирующая диагностический тест, как совокупность наборов, соответствующих этим строкам.

Диагностический тест имеет вид:

a	b	c
0	0	0
0	0	1
0	1	1
1	0	0

**Таблица 2.7**

**Таблица покрытий для пар функций  $\Phi_i, \Phi_j$**

Номер набора	Входные переменные			$\Phi_i \Phi_j$										
	a	b	c	1-2	1-4	1-5	1-8	1-11	1-15	2-4	2-5	2-8	2-11	2-15
0	0	0	0			1			1		1			1
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1					
2	0	1	0						1					1
3	0	1	1		1			1	1	1			1	1
4	1	0	0				1	1	1			1	1	1
5	1	0	1	1			1	1	1	1	1			
6	1	1	0					1	1				1	1
7	1	1	1					1	1				1	1

**Продолжение таблицы 2.7**

Номер набора	$\Phi_i \Phi_j$										Число единиц в строке			
	4-5	4-8	4-11	4-15	5-8	5-11	5-15	8-11	8-11	11-15	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
0	1			1	1	1			1	1	10	5	3	-
1											6	3	2	1
2				1			1		1	1	6	2	1	-
3	1	1				1	1	1	1		12	5	-	-

4		1	1	1	1	1	1				12	-	-	-
5		1	1	1	1	1	1				12	2	2	1
6			1	1		1	1	1	1		10	2	-	-
7			1	1		1	1	1	1		10	2	-	-

В диагностическом тесте наборы различают все различимые между собой функции неисправностей. Для того чтобы им пользоваться, надо знать значения функций неисправностей при данных набора теста. С этой целью для получения наборов диагностического теста строится сокращенная ТФН (табл.2.8). При этом из таблицы 2.4 в таблицу 2.8 выписываются значения всех различимых функций неисправностей для полученных наборов 0,1, 3, 4.

**Таблица 2.8**

**Диагностический тест**

Номер набора	Входные переменные			Функции неисправностей						
	a	b	c	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_4$	$\Phi_5$	$\Phi_8$	$\Phi_{11}$	$\Phi_{15}$
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
3	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1
4	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Из таблицы 2.8 видно, что все функции неисправностей по значениям отличаются друг от друга и можно обнаружить любую неисправность, если подавать на схему наборы полученного теста.

Этот метод применим и для построения диагностических тестов при кратных неисправностях. Для этого в ТФН надо добавить столбцы, соответствующие сочетаниям нескольких неисправностей. Практически часто это сделать невозможно, так как таблица принимает очень большие размеры.

**2.4.3. Построение тестов методом существенных путей**

Для того, чтобы неисправность могла быть обнаружена по состоянию выхода схемы, должны быть удовлетворены два условия.

Во-первых, неисправность должна проявляться. Другими словами, если в рассматриваемом узле на выходе элемента имеется неисправность со значением функции неисправности, равным 1(0), то нужно подобрать входные сигналы этого элемента так, чтобы сигнал на его выходе при отсутствии неисправности получился бы равным 0(1), в этом случае неисправность проявится.

Для иллюстрации сказанного рассмотрим одновыходную схему без разветвлений на рисунке 2.3. Пусть, например, функция неисправности в узле 6 имеет значение 1. Нужно подобрать значения входных сигналов элемента И-НЕ так, чтобы сигнал на его выходе имел значение, равное 0. Для этого нужно, чтобы сигналы на входах имели значения:  $a = 1$  и  $b = 1$ . Так как значение сигнала на выходе должно быть равным нулю, а вследствие неисправности в узле 6 значение сигнала равно 1, то неисправность проявится.

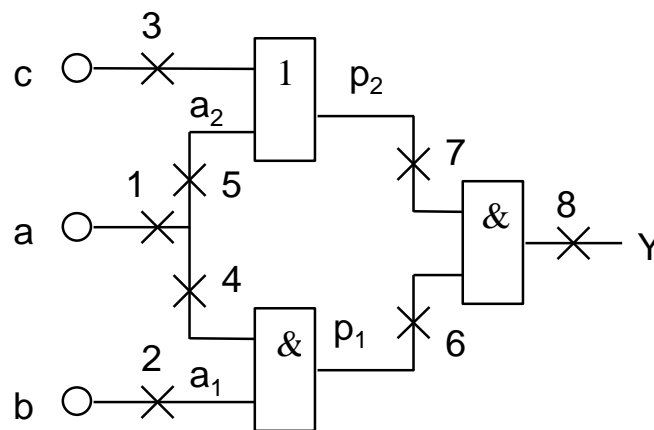


Рис. 2.3. Одновыходная схема без разветвлений

Во-вторых, изменение значения сигнала в месте проявления неисправности должно изменить на обратное значение сигнала на контролируемом выходе схемы. Проанализированный таким образом путь в схеме, на котором находится эта неисправность, называется *существенным*.

В связи с этим надо сделать переменную  $P_1$  в месте неисправности (в узле 6) *существенной*, т.е. такой переменной, изменение значения которой вызвало бы изменение значения выходного сигнала  $Y$ . Для этого надо подобрать на другом входе элемента И такое значение переменной  $P_2$ , чтобы значение  $Y$  зависело бы только от значения переменной  $P_1$  в узле 6. Для элемента, реализующего функцию И, имеем:

$P_1$	$P_2$	$Y$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Следовательно, переменная  $P_1$  будет *существенной* тогда, когда переменная  $P_2$  будет иметь значение 1.

Теперь проследим путь дальше, до элемента ИЛИ, выход которого должен иметь значение 1 (чтобы соблюдалось  $P_2 = 1$ ). Для этого хотя бы один из его входов должен иметь значение 1; но ранее уже установлено, что  $a = 1$ , поэтому другой вход этого элемента может иметь любое значение, т.е.  $c = \sim$  ( $\sim$  - тильда, знак безразличного значения). Таким образом, для того, чтобы сделать *существенным* путь через неисправность в узле б, надо подавать на входы схемы набор

a	b	c
1	1	$\sim$

Для полученного набора следует проверить, какие еще неисправности он может проявить. Это иногда позволяет сократить список неисправностей, для проявления которых требуется искать еще наборы.

Для каждой из оставшихся неисправностей проделывают все в таком же порядке, и наконец, получают совокупность наборов, представляющих собой контрольный тест.

При построении диагностического теста надо учитывать следующее. Любые две неисправности могут быть различимы между собой, если одна из них на каком-либо наборе меняет значение сигнала на выходе схемы, а другая - нет, и наоборот. Из этих соображений подбираются наборы диагностического теста. Для того же, чтобы некоторая неисправность не меняла значение сигнала на выходе, ее надо сделать *несущественной*, т.е. создать такие условия, при которых она не могла бы быть обнаруженной. Для этого достаточно не соблюсти любое одно из двух условий, указанных выше при построении контрольного теста.

Таким образом, надо проанализировать все пары возможных неисправностей и подобрать такие наборы, чтобы путь для одной неисправности был *существенным*, а для другой - *несущественным*, т.е. чтобы можно было отличить одну неисправность от другой.

Если схема имеет разветвления или является многовыходной, то применение этого метода усложняется. Рекомендуется в этом случае схему приводить к схеме без разветвлений и разбивать на одновыходные подсхемы.

#### **2.4.4. Построение тестов методом существенных путей с использованием эквивалентной нормальной формы**

ЭНФ - дизъюнктивная нормальная форма, описывающая логическую схему объекта диагноза, представляющая собой логическую сумму логических произведений букв. Произведение букв носит название *терм*.

В общем случае для схем с разветвлениями каждая буква термина соответствует входной переменной или ее инверсии с индексом, который составляется из номеров логических элементов схемы, встречающихся на пути, соединяющие данную переменную с выходом схемы.

*Сокращенной ЭНФ* называется такая форма, которая получается из ЭНФ путем удаления из нее термов, содержащих пары букв вида А.

Сочетание букв  $x_r x_l$  или  $x_l x_r$  называется парой букв вида А, если пути  $r$  и  $l$ , являющихся индексами у переменных  $x(x)$  или  $\bar{x}(x)$ , представлены одинаковыми последовательностями элементов ( $r = l$ ) или имеют хотя бы один общий элемент, выход которого соединен более чем с одним элементом схемы.

Например, терм вида  $a_{25} b_{145} b_{135} c_{45}$  будет содержать сочетание букв типа А ( $b_{145} b_{135}$ ), если в путях 145 и 135 содержится общий элемент, выход которого соединен более чем с одним элементом схемы. В данном примере этим элементом будет элемент 1, который является общим и, судя по записанным последовательностям, соединен с двумя элементами схемы (4-м и 3-м).

*Обратной ЭНФ* называется форма, полученная путем инвертирования правой и левой частей ЭНФ.

*Сокращенной обратной ЭНФ* называется форма, полученная путем инвертирования правой и левой частей сокращенной ЭНФ.

Любая неисправность  $S_{ij} \in \{0, 1\}$  приводит к тому, что часть букв ЭНФ фиксируется значением 0, а часть 1, если пути, связанные с этими буквами, проходят через  $j$ -й вход  $i$ -го элемента, и, таким образом, проверка неисправности сводится к проверке букв. Букву в ЭНФ в общем виде обозначают символом  $q_i$  и придают ему значение  $q_i = 0$  или  $q_i = 1$  в зависимости от того, какого типа неисправность проверяется (0 или 1).

### Правила проверки букв ЭНФ.

1) Для проверки  $q_i$  на неисправность типа 0 достаточно принять все буквы хотя бы одного термина сокращенной ЭНФ, содержащего  $q_i$ , равными 1, и в каждом из остальных термов - хотя бы одну букву принять равной нулю.

2) Для проверки  $q_i$  на 1 достаточно хотя бы в одном терме, содержащем  $q_i$ , принять  $q_i$  равной 0, а значения остальных букв этого термина - равным 1, при этом в каждом из остальных термов принять хотя бы одну букву равной нулю.

3) Для проверки букв кроме сокращенной ЭНФ может быть использована обратная сокращенная ЭНФ.

Проверка  $q_i$  на 0 в ЭНФ эквивалентна проверке  $q_i$  на 1 в обратной ЭНФ (ОЭНФ) и проверка  $q_i$  на 1 в ЭНФ эквивалентна проверке  $q_i$  на 0 в ОЭНФ.

Определение набора теста рекомендуется производить следующим образом.

Из ЭНФ (или ОЭНФ) получается сокращенная ЭНФ (ОЭНФ) и из нее выбирается терм, содержащий наименьшее число букв. В этом терме проверяется буква, наиболее часто встречающаяся в остальных термах (при проверке на  $q_i = 1$  данная буква в терме принимается равной 0, остальные - по 1). Следующий из оставшихся терм выбирается из таких же условий и т.д.

На каждом наборе, проверяющем  $q_i$ , одновременно проверяются и другие буквы, условия проверки которых совпадают с условиями проверки  $q_i$ . Множества наборов, проверяющее все буквы сокращенной ЭНФ (ОЭНФ) на фиксированный 0 и фиксированную 1, является достаточным для получения *контрольного теста*, выполняющего функции как контрольного, так и диагностического теста.

Если какая-либо буква  $q_i$  не проверяется таким путем, то следует проверить сочетание этой буквы с каждой из букв терма, содержащего  $q_i$ . Если проверяются не все сочетания по две, то следует проверить все сочетания по три и т.д.

При проверке сочетания букв, например на  $q_i q_r = 11$ , в терме, содержащем это сочетание, все буквы, кроме вошедших в сочетание, принимаются равным 1, а  $q_i$  и  $q_r$  - равными 0. В остальном условия сочетаний аналогичны условиям проверки одной буквы, описанной выше.

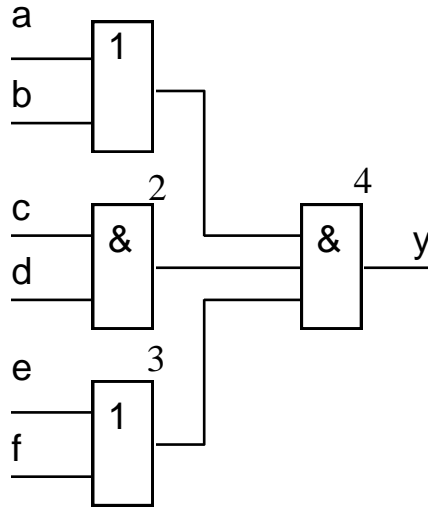


Рис. 2.4. Проверяемая логическая схема

Контрольный тест проверяет любое произвольное сочетание неисправностей, если каждая буква проверена в каждом терме на фиксированный 0 или фиксированную 1. Так как проверка  $q_i = 1$  в ЭНФ эквивалентна проверке  $q_i = 0$  в ОЭНФ и наоборот, то рекомендуется производить проверку по той форме, которая содержит меньшее число термов.

Порядок получения ЭНФ и определения наборов теста рассматриваются на примере схемы на рис.2.4.

Эквивалентная нормальная форма (ЭНФ) составляется в виде алгебраического выражения для выходной переменной Y:

$$Y = ((a+b)_1(cd)_2(e+f)_3)_4 = ((a_1+b_1)c_2d_2(e_3+f_3))_4 = ((a_1+b_1)(c_2d_2e_3 + c_2d_2f_3))_4 = a_{14}c_{24}d_{24}e_{34} + a_{14}c_{24}d_{24}f_{34} + b_{14}c_{24}d_{24}e_{34} + b_{14}c_{24}d_{24}f_{34}.$$

Так как рассматриваемая схема без разветвлений, то ЭНФ и ДНФ совпадают и индексы у переменных могут быть опущены.

Обратная ЭНФ (ОЭНФ) получается из выражения

$$\overline{Y} = \overline{acde + acdf + bcde + bcdf} = \overline{(a+c+d+e)(a+c+d+f)(b+c+d+e)(b+c+d+f)}.$$

Раскрывая скобки и производя равносильные преобразования, получаем:

$$\overline{Y} = \overline{a} \overline{b} + \overline{c} + \overline{d} + \overline{e} \overline{f}.$$

При преобразованиях выражений, содержащих переменные с индексами, следует иметь в виду, что одна и та же переменная с разными индексами - это разные буквы.



Данные ЭНФ и ОЭНФ не содержат термов, которые можно сократить.

*Определение совокупности наборов теста.* Произведем проверку букв на  $q_i = 0$ , применяя для этого правило 1 к выражению ЭНФ. Принятые значения букв записываем в строке под выражением ЭНФ:

$$Y = a c d e + a c d f + b c d e + b c d f$$

$$\begin{array}{cccc} \underline{1111} & 1110 & 0111 & 0110 \\ 0110 & 0111 & 1110 & \underline{1111} \end{array}$$

Примем, например, в первом терме все буквы равными 1. Во всех остальных термах значения букв, содержащихся в первом терме, принимаем равными единице, т.е.  $a=1, c=1, d=1, e=1$ . Согласно правилу 1, хотя бы одна буква во всех остальных термах должна иметь значение, равное нулю, поэтому во втором терме принято  $f=0$ , а следовательно, и в четвертом терме  $f=0$ .

В третьем терме принято значение  $b=0$ , а следовательно, и в четвертом терме  $b=0$ .

В результате проверки букв формируется первый набор (таблица 2.9). Проверяемыми будут буквы, составляющие единичный терм ( $a, c, d, e$ ).

**Таблица 2.9**

**Таблица наборов значений входных переменных (тест)**

Номер набора	Входные переменные						$q_i$	Проверяемые буквы					
	a	b	c	d	e	f		a	b	c	d	e	f
1	1	0	1	1	1	0	0	1		1	1	1	
2	0	1	1	1	0	1	0		1	1	1		1
3	0	0	1	1	0	1	1	1	1				
4	0	1	0	1	0	1	1			1			
5	0	1	1	0	0	1	1				1		
6	0	1	1	1	0	0	1					1	1

Посмотрим теперь, в каком терме есть еще не проверенные буквы. Таким термом оказывается терм, содержащий буквы  $b$  и  $f$ . Следовательно, необходимо подобрать второй набор значений входных переменных на  $q_i=0$  букв  $b$  и  $f$ .

Для определения второго набора значений входных переменных примем значения букв четвертого терма равными по 1 и определим, исходя из этого, значения букв в остальных термах.

Значения букв записаны во второй строке под выражением ЭНФ. В результате проверки получен второй набор значений переменных для  $q_i=0$ , приведенный в табл. 9. Для проверки на  $q_i=1$  используем выражение ОЭНФ:

$$\bar{Y} = \bar{a} \bar{b} + \bar{c} + \bar{d} + \bar{e} \bar{f}$$

<u>11</u>	0	0	10
10	<u>1</u>	0	10
10	0	<u>1</u>	10
10	0	0	<u>11</u>

При проверке получены наборы 3, 4, 5, 6, приведенные в таблице 2.9.

Полученная совокупность наборов является контрольным тестом. Если построенный тест проверяет не все неисправности, то рекомендуется после построения теста описанным методом для каждого его набора написать перечень неисправностей, которые он проверяет. Если в результате будут перечислены все неисправности, то имеющихся наборов теста достаточно для их проверки.

Если же какая-то неисправность не попадает в составленный перечень, то для нее следует подыскать набор отдельно, например, методом существенных путей, описанным выше.

#### 2.4.5. Построение тестов для схем с обратными связями

На рисунке 2.5 приведена схема контролируемого объекта с обратной связью.

При построении тестов должны учитываться предыдущее  $b_{1П}$  и настоящее -  $b_{1Н}$  значения выходной переменной схемы памяти. В рассматриваемом случае

$$b_{1Н} = a_2(a_1 + a_3 + b_{1П}).$$

Процесс построения удобней производить с одновременным построением таблицы (таблица 2.10) в следующем порядке:

для проверки неисправности типа  $q_i=0$  поочередно в каждом терме все переменные принимаются равными 1 (в таблице для этой цели записана ЭНФ);

вычисляется по формуле значения  $b_{1Н}$ ;

справа в столбцах таблицы отмечаются проверяемые буквы;

слева в столбцах таблицы проставляются значения переменных, соответствующие значениям букв в ЭНФ.

Очевидно, что изменение значения проверяемой буквы с 1(0) на 0(1) должно вызвать изменение  $b_{1Н}$ .

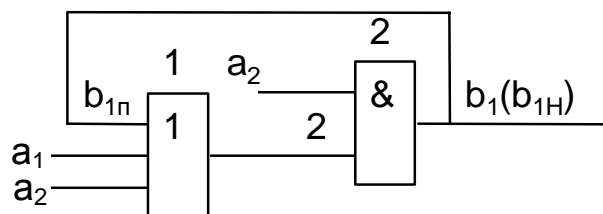


Рис. 2.5. Схема контролируемого объекта с обратной связью

Полученная в таблице 2.10 совокупность наборов является контрольным тестом. При построении таблиц покрытий и, следовательно, по ним таблиц функций неисправностей для схем с обратными связями важно соблюдать последовательность входных наборов.

Основой для построения таблиц покрытий является совокупность наборов, полученных при построении контрольных тестов.

При составлении таблиц покрытий должно обязательно соблюдаться правило: предыдущее значение выходного сигнала элемента или узла памяти, входящее в рассматриваемый набор, должно совпадать с настоящим значением выходного сигнала элемента или узла памяти при предыдущем наборе, т.е. наборе, который рассматривался перед данным. Для обеспечения этого условия к основным наборам периодически приходится добавлять *набор гашения*, устанавливающий сигнал выхода схемы ПАМЯТЬ в нужное состояние. Если такового из основных наборов подобрать не удастся, то его добавляют искусственно.

В рассматриваемом примере в качестве первого набора принят набор, устанавливающий выход схемы памяти в 0:

$$\begin{array}{cccc} a_2 & a_1 & a_3 & b_{1П} \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{array}$$

(при этом  $b_{1Н}=0$ ).

Порядок проставления остальных наборов зависит от значения сигналов элемента памяти  $b_{1Н}$  и  $b_{1П}$  (соответствующие пары этих сигналов, подобранные по приведенному выше правилу, в таблице 2.11, соединены между собой ломаной линией).

В первых столбцах проставляются виды неисправностей элементов схемы (узла). В рассматриваемом примере узел состоит из двух элементов - ИЛИ и И.

Таблица 2.10

### Построение теста по ЭНФ

Номер	Входные переменные	$b_{1П}$	ЭНФ	$b_{1Н}$	Проверяемые буквы	$q_i$
-------	--------------------	----------	-----	----------	-------------------	-------

набора	$a_2$	$a_1$	$a_3$		$b_{1n}a_2+a_1a_2+a_3a_2$		$a_2$	$a_1$	$a_3$	$b_{1n}$	
1	1	0	0	1	1 1 0 1 0 1	1	1			1	0
2	1	1	0	0	0 0 1 1 0 1	1	1	1			0
3	1	0	1	0	0 1 0 1 1 1	1	1		1		0
4	1	0	0	0	0 1 0 1 0 1	0		1	1	1	1
5	0	1	1	1	1 0 1 0 1 0	0	1				1

Строки таблицы покрытий заполняются следующим образом: последовательно вычисляется значение функции, реализуемой схемой, при различных неисправностях и определяются виды неисправностей, изменяющих значения выходных сигналов схемы на каждом входном наборе. Для построения таблицы покрытий схемы целесообразно использовать таблицы покрытий отдельных элементов.

Таблица покрытий для исследуемой схемы приведена в правой части таблицы 2.11. Здесь столбцы для отдельных элементов соответствуют различимым между собой неисправностям этих элементов.

В группах столбцов, принадлежащих неисправностям разных элементов, могут встретиться в принципе неразличимые неисправности. При построении ТФН их желательно исключить. В таблице 2.11 такими неисправностями являются  $S_{1-1}$  и  $S_{2(2)-1}$ ,  $S_{1-0}$ ,  $S_{2-0}$ .

**Таблица 2.11**

**Тест и таблица покрытий для схемы рисунка 2.5**

Номер на-бора	Входные переменные				Виды неисправностей								
					$b_{1n}$	Элемент 1-ИЛИ				Элемент 2-И			
	$a_2$	$a_1$	$a_3$	$b_{1n}$		$S_{1-1}$	$S_{1-0}$	$S_{1(a_1)-0}$	$S_{1(a_2)-0}$	$S_{2-1}$	$S_{2-0}$	$S_{2(2)-1}$	$S_{2(a_2)-1}$
1	0	1	1	1	0					1			1
2	1	0	0	0	0	1				1		1	
3	1	1	0	0	1		1	1			1		
4	1	0	0	1	1		1				1		
5	0	1	1	1	0					1			1
6	1	0	1	0	1		1		1		1		

В результате ТФН для рассмотренной схемы будет иметь вид таблицы 2.12.

В столбцах ТФН проставляется значение  $b_{1n}$  на соответствующих наборах, если соответствующая клетка таблицы покрытий пуста. Если же в клетке таблицы покрытий в рассматриваемом столбце (неисправности) стоит 1, то в ТФН в этой клетке проставляется значение, инверсное значению  $b_{1n}$  для данного набора.

Таблица 2.12

## ТФН для схемы рисунка 2.5

Номер набора	Входные переменные			$b_{1н}$	Неисправности					
	$a_2$	$a_1$	$a_3$		$S_{1-1}; S_{2(2)-1}$	$S_{1-0}; S_{2-0}$	$S_{1(a_1)-0}$	$S_{1(a_2)-1}$	$S_{2-1}$	$S_{2(a_2)-1}$
1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
3	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
4	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1
5	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
6	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1

Диагностическим тестом для одиночных неисправностей в этом случае считают совокупность всех наборов таблицы покрытий, если они различают все пары неисправностей. Если какие-то пары неисправностей не различаются, то следует другим методом отыскать недостающие наборы, либо считать, что если объект диагноза неисправен и неисправность не находится с помощью полученного теста, то она находится среди тех неисправностей, которые не входят в список неисправностей, различаемых данным тестом.

## 2.5. Практические занятия

### Задание 1.

- 1.1. Для заданной схемы УЛУ записать алгебраическое выражение.
- 1.2. Построить контрольный и диагностический тесты.
- 1.3. Построить ТФН.
- 1.4. Набрать схему на тренажере.
- 1.5. Проверить исправность схемы, применив контрольный тест.

1.6. Для поиска неисправности (заданной преподавателем) применить \_\_\_\_\_ диагностический тест и указать место неисправности.

### **Задание 2.**

2.1. Для заданной схемы УЛУ с обратными связями составить алгебраическое выражение.

2.2. Набрать схему на тренажере.

2.3. Проверить исправность схемы, подавая заданную последовательность наборов теста.

2.4. Проверить правильность заданной ТФН.

2.5. Оборвать обратную связь и подать наборы теста в произвольной последовательности, сравнивая получаемые результаты с табличными.

2.6. Построить тест с использованием ЭНФ.

### **Задание 3.**

3.1. Для заданного функционального узла схемы управления лифтом разработать проверяющий и диагностический тесты.

3.2. Проверить правильность теста на моделях, запрограммированных на персональном компьютере (файл lift.exe).

3.3. Методом существенных путей с использованием моделей п.3.2 подобрать наборы, различающие заданные преподавателем неисправности или вывести дополнительные контрольные точки.

## Библиографический список

1. Проектирование бесконтактных управляющих логических устройств промышленной автоматики /Г. Р. Грейнер, В. П. Ильяшенко, В. П. Май, Н. Н. Первушин, Л. И. Токмакова. - М.: Энергия, 1977. - 384 с.
2. Лазарев В.Г. и др. Проектирование дискретных устройств автоматики: Учеб. пособие для вузов связи /В.Г. Лазарев, Н.П. Маркин, Ю.В. Лазарев. – М.: Радио и связь, 1985. - 168 с.
3. Узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры на микросхемах. Методика составления контрольных тестов цифровых узлов //Отраслевой стандарт ОСТ4 ГО.303.000, 1972. - 44 с.
4. Узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры на микросхемах. Методика диагностики цифровых узлов //Отраслевой стандарт ОСТ4 ГО.303.001, 1973. - 44 с.