



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный  
технический университет**

---

---

**Кафедра «Электропривод и автоматизация  
промышленных установок и технологических комплексов»**

**Д. С. Васильев**

# **НАЛАДКА И ДИАГНОСТИКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

*Учебно-методическое пособие  
по выполнению контрольной работы*

**Минск  
БНТУ  
2014**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Электропривод и автоматизация  
промышленных установок и технологических комплексов»

Д. С. Васильев

## НАЛАДКА И ДИАГНОСТИКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Учебно-методическое пособие  
по выполнению контрольной работы  
для студентов заочной формы обучения  
специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области автоматизации технологических процессов,  
производства и управления*

Минск  
БНТУ  
2014

УДК 62–83–52(076.5)(075.8)

ББК 31.291я7

В19

Рецензенты:

*В. С. Юденков, И. Ф. Кузьмицкий*

**Васильев, Д. С.**

- В19      Наладка и диагностика систем управления электроприводами: учебно-методическое пособие по выполнению контрольной работы специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» / Д. С. Васильев. – Минск : БНТУ, 2014. – 18 с.  
ISBN 978-985-550-400-0.

В пособии содержатся методические материалы, необходимые для выполнения контрольной работы по одноименной дисциплине и включающие варианты индивидуального задания по контрольной работе, пример выполнения ее первой части по построению контролирующего и диагностического тестов для заданного логического устройства, также приведены ссылки на литературу по тематике выполняемой контрольной работы и требования к ее оформлению.

УДК 62–83–52(076.5)(075.8)

ББК 31.291я7

ISBN 978-985-550-400-0

© Васильев Д. С., 2014

© Белорусский национальный  
технический университет, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Пример построения контролирующего и диагностического тестов.....	5
1. Условие задачи.....	5
2. Составление таблиц функций неисправностей.....	6
3. Построение контролирующего теста.....	9
4. Построение диагностического теста.....	11
Список использованных источников.....	16
Приложение.....	17

## ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа по дисциплине «Наладка и диагностика автоматизированного электропривода» выполняется студентами 6-го курса заочной формы обучения специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы».

Контрольная работа состоит из двух частей:

1. Построение контролирующего и диагностического тестов для заданного логического устройства.

2. Рассмотрение комплектного электропривода.

Схема логического устройства представлена в приложении. Функции, реализуемые логическими элементами, назначаются преподавателем в соответствии с вариантами задания по контрольной работе см. приложение.

Для построения тестов необходимо знание алгебры, а именно логики и методик получения оптимальных логических выражений.

В методическом пособии представлен пример построения контролирующего и диагностирующего тестов для логического устройства, а в списке использованных источников указана необходимая для выполнения контрольной работы литература [1].

Комплектный электропривод студент должен подобрать по месту работы и согласовать с преподавателем.

В контрольной работе необходимо представить технические данные электропривода, указать область применения, схему подключения с описанием, подробную функциональную схему с описанием, описать возможные режимы работы, применяемые защиты и диагностику, методику наладки и эксплуатации.

Оформлять контрольную работу необходимо в соответствии с требованиями методического пособия [2].

# ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ КОНТРОЛИРУЮЩЕГО И ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ТЕСТОВ

## 1. Условие задачи

Необходимо построить контролирующий и диагностический тесты для логического устройства, представленного ниже на рис. 1.1.

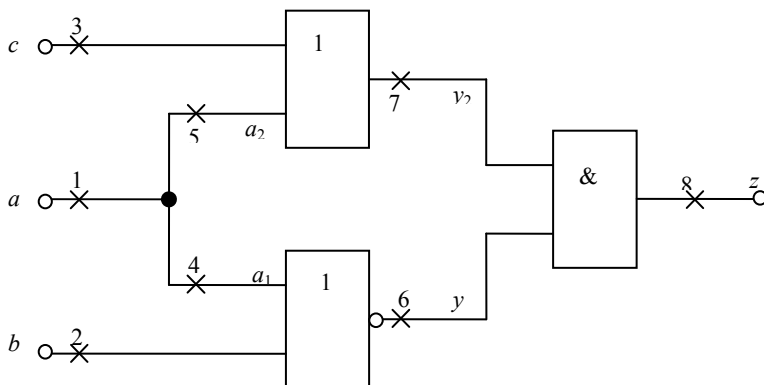


Рис. 1.1. Схема логического устройства

Перед построением контролирующего и диагностирующего тестов принимаем следующие допущения:

1. Логические элементы исправны.
2. Неисправность может быть только в одном отдельно взятом узле схемы (от 1 до 8).
3. Неисправность может иметь значение «1» или «0».

Контролирующий и диагностический тесты представляют собой наборы переменных, подаваемых на входы  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

С помощью контролирующего теста по значениям выходного сигнала  $z$  можно определить, исправна схема или нет, а с помощью диагностического теста можно определить место и вид неисправности.

Логическое выражение для исправной схемы имеет вид:

$$\begin{aligned} z &= (y_1 + y_2) = (a + c) \cdot \overline{(a + b)} = \\ &= (a + c) \bar{a} \cdot \bar{b} = a \cdot \bar{a} \cdot \bar{b} + a \cdot \bar{b} \cdot c = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c. \end{aligned} \tag{1.1}$$

Логическое выражение при неисправностях в узле 4 или 5 можно представить как

$$z = (a_2 + c) \cdot \overline{(a_1 + b)} = (a_2 + c) \cdot \overline{a_1} \cdot \overline{b} = \overline{a_1} \cdot a_2 \cdot \overline{b} + \overline{a_1} \cdot \overline{b} \cdot c. \quad (1.2)$$

## 2. Составление таблиц функций неисправностей

В табл. 2.1 в столбце «Функция неисправностей» записывается выражение функций неисправностей, соответствующее наличию конкретной неисправности в соответствующем узле схемы. Эти выражения получают подстановкой в выражения (1.1) и (1.2) значений «1» или «0» в соответствующем узле схемы.

Таблица 2.1

Таблица неисправностей

Номер узла	Неисправность	Переменная в узле	Функция неисправности
1	1	$a_1 = 1 \quad a_2 = 1$	$z_{1+1} = 0$
	0	$a_1 = 0 \quad a_2 = 0$	$z_{1-0} = \overline{b} \cdot c$
2	1	$a = 1$	$z_{2-1} = 0$
	0	$a = 0$	$z_{2-0} = \overline{a} \cdot c$
3	1	$c = 1$	$z_{3-1} = \overline{a} \cdot \overline{b}$
	0	$c = 0$	$z_{3-0} = 0$
4	1	$a_1 = 1 \quad a_2 = a$	$z_{4-1} = 0$
	0	$a_1 = 0 \quad a_2 = a$	$z_{4-0} = a \cdot \overline{b} + c \cdot \overline{b}$
5	1	$a_2 = 1 \quad a_1 = a$	$z_{5-1} = \overline{a} \cdot \overline{b}$
	0	$a_2 = 0 \quad a_1 = a$	$z_{5-0} = \overline{a} \cdot \overline{b} \cdot c$
6	1	$y_1 = 1$	$z_{6-1} = a + c$
	0	$y_1 = 0$	$z_{6-0} = 0$

Номер узла	Неисправность	Переменная в узле	Функция неисправности
7	1	$y_2 = 1$	$z_{7-1} = \bar{a} \cdot \bar{b}$
	0	$y_2 = 0$	$z_{7-0} = 0$
8	1	$z = 1$	$z_{8-1} = 1$
	0	$z = 0$	$z_{8-0} = 0$

В случае неисправности в узле 4 рассматривается  $a_1 = 1(0)$ ,  $a_2 = a$ ; в узле 5 – соответственно  $a_1 = a$ ,  $a_2 = 1(0)$ . В индексе выходного сигнала указываются номер рассматриваемого узла и вид неисправности, например,  $z_{2-1}$  – значение выходного сигнала, если во втором узле неисправность типа «1».

В таблице функций неисправностей (табл. 2.2) записываются для всех восьми наборов входных сигналов исправной схемы  $e_0$  и шестнадцати неисправных схем – соответственно  $e_1$ – $e_{16}$  по выражениям, которые представлены в табл. 2.1.

Анализируя табл. 2.2., находим обнаруживаемые и необнаруживаемые, различимые и неразличимые неисправности.

Сравнивая  $e_{10}$  и  $e_0$  находим, что неисправность вида  $e_{10}$  относится к классу необнаруживаемых неисправностей, так как при всех наборах входных переменных выходные сигналы исправной схемы и схемы с данной неисправностью одинаковы.

К классу обнаруживаемых, но неразличимых неисправностей, относятся неисправности, у которых при всех наборах входных переменных выходные сигналы одинаковы.

В данной схеме две группы неразличимых неисправностей –  $e_1$ ,  $e_3$ ,  $e_6$ ,  $e_7$ ,  $e_{12}$ ,  $e_{14}$ ,  $e_{16}$  и  $e_5$ ,  $e_9$ ,  $e_{13}$ .

Из дальнейшего рассмотрения исключаем неисправность  $e_{10}$  и из каждой группы неразличимых неисправностей оставляем по одной неисправности: в данном случае оставляем  $e_1$  и  $e_5$ .

Все остальные неисправности являются обнаруживаемыми и различимыми.

В результате в дальнейшем рассматриваем исправную схему  $e_0$  и неисправные схемы  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_4$ ,  $e_5$ ,  $e_8$ ,  $e_{11}$ ,  $e_{15}$ .





### 3. Построение контролирующего теста

Для построения минимального контролирующего теста построим таблицу покрытия для пар функций  $e_0, e_j$ , где  $e_0$  – функция исправной схемы,  $e_j$  – функция конкретной неисправной схемы.

В таблице покрытия (табл. 3.1) для каждого набора входных переменных, которые для удобства обозначим заглавными латинскими буквами, запишем результаты сравнения выходных сигналов исправной схемы и рассматриваемой неисправной. Если выходные сигналы при данном наборе входных сигналов отличаются, то в соответствующей клеточке таблицы покрытия записываем «1».

Таблица 3.1

Таблица покрытия для пар функций  $e_0, e_j$

Номер набора		Входные переменные			$e_0, e_j$						
		$a$	$b$	$c$	0,1	0,2	0,4	0,5	0,8	0,11	0,15
A	0	0	0	0				1			1
B	1	0	0	1	1						
C	2	0	1	0							1
D	3	0	1	1			1			1	1
E	4	1	0	0					1	1	1
F	5	1	0	1		1			1	1	1
G	6	1	1	0						1	1
H	7	1	1	1						1	1

Так, например, результаты сравнения выходных сигналов исправной схемы  $e_0$  и первой неисправной  $e_1$  указываются в столбике «0,1». При первом наборе входных переменных (наборе В) выходной сигнал исправной схемы равен «1», а первой неисправной – «0». Поэтому в соответствующей клеточке таблицы покрытия записываем «1». Таким образом, данный набор входных переменных обнаруживает или проявляет рассматриваемую неисправность. При всех остальных наборах входных переменных выходные сигналы  $e_0$  и  $e_1$  одинаковые, следовательно, остальные клеточки этого столбика пустые. Аналогично в соответствующих столбиках таблицы покры-

тия указываются результаты сравнения выходных сигналов  $e_0$  и  $e_2$ ,  $e_0$  и  $e_4$ ,  $e_0$  и  $e_5$ ,  $e_0$  и  $e_8$ ,  $e_0$  и  $e_{11}$ ,  $e_0$  и  $e_{15}$ .

На основании таблицы покрытия (табл. 3.1) записываем функцию покрытия по следующим правилам:

1. Для каждого столбика таблицы покрытия записываем сумму наборов входных переменных при которых в этом столбике указана «1» (например, в столбике, где представлены результаты сравнения  $e_0$  и  $e_{11}$  при наборе D, E, F, G, H записана «1», поэтому для данного столбика записываем сумму  $-D + E + F + G + H$ ).

2. Записываем произведение указанных сумм. В итоге функция покрытия имеет вид

$$\begin{aligned} \Phi_{\Pi} = & B \cdot F \cdot D \cdot A \cdot (E + F) \cdot (D + E + F + G + H) \times \\ & \times (A + C + D + E + F + G + H). \end{aligned} \quad (3.1)$$

Преобразуем ее по аналогии со следующим примером:

$$\begin{aligned} F \cdot (E + F) &= F \cdot E + F \cdot F = \\ &= F \cdot E + F = F \cdot (E + 1) = F \cdot 1 = F. \end{aligned} \quad (3.2)$$

В результате преобразования функция покрытия примет вид:

$$\Phi_{\Pi} = A \cdot B \cdot D \cdot F. \quad (3.3)$$

В данном примере функция покрытия состоит из одного произведения, однако может быть получено выражение, состоящее из нескольких произведений. В этом случае из них следует выбрать произведение, состоящее из минимального количества сомножителей, что определяет наименьшее количество наборов, входящих в контролирующий тест.

В нашем случае контролирующий тест состоит из наборов 0(A), 1(B), 3(D) и 5(F) и представлен ниже в табл. 3.2.

## Контролирующий тест

Номер набора	Входные переменные			$e_0$	Функция неисправностей						
	$a$	$b$	$c$		$e_1$	$e_2$	$e_4$	$e_5$	$e_8$	$e_{11}$	$e_{15}$
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
3	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1
5	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1

Проверка исправности устройства производится следующим образом. На входы устройства подаются последовательно наборы входных переменных, указанных в контролирующем тексте: если значения выходных сигналов отличаются от значений  $e_0$ , то в устройстве имеется неисправность. Данный тест не является диагностическим, так как выходные сигналы при второй неисправности  $e_2$  и восьмой неисправности  $e_8$  одинаковы при всех наборах контролирующего теста.

#### 4. Построение диагностического теста

Диагностический тест позволяет указать место и вид неисправности в устройстве. Поэтому в таблице покрытия указываются результаты попарного сравнения функций всех неисправностей друг с другом (табл. 4.1). Заполнение таблицы осуществляется так же, как и табл. 3.1. В случае если при одном и том же наборе входных переменных выходные сигналы при сравниваемых неисправностях не совпадают, то в соответствующей клеточке таблицы покрытия записывается «1».

Функция покрытия обеспечивает получение минимально возможного теста, но требует громоздких преобразований. В нашем случае исходная функция покрытия содержит 21 сомножитель.

Рассмотрим простой метод, который позволяет получить минимизированный, т. е. близкий к минимальному, тест. В некоторых случаях, в том числе и в рассматриваемом, этот метод обеспечивает получение минимального теста.

Для определения диагностического теста необходимо найти такую совокупность наборов входных переменных, чтобы она обеспечивала получение единиц во всех столбцах таблицы покрытия.

К табл. 4.1 добавляются 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  $a_1$  записывается число единиц в каждой строке в начале составления диагностического теста. 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, 4. Следовательно, в состав диагностического теста включаем четвертый набор входных переменных.

Затем вычеркиваем все столбцы табл.4.1, содержащие единицу в четвертой строке, их будет 12.

Опять подсчитываем единицы в каждой строке с учетом оставшихся столбцов и записываем их в столбце  $a_2$ . Максимальное количество единиц  $a_{2\max} = 5$ . В табл. 4.1.  $a_{2\max}$  находится в строках под номерами 0 и 3. Выбираем строку 3, включая этот набор входных переменных в диагностический тест, и вычеркиваем столбцы, содержащие единицу в наборе под номером 3.

В столбце  $a_3$  записываем количество единиц в оставшихся столбцах и выбираем строку, где  $a_{3\max} = 3$  – это строка под номером 0. Включаем этот набор в диагностический тест и вычеркиваем соответствующие столбцы. В столбце  $a_4$  получаем  $a_{4\max} = 1$  в первом и пятом наборах выбираем первый набор.

В результате получим диагностический тест, содержащий наборы 0, 1, 3, 4 (табл. 4.2) – в этой таблице выходные сигналы всех неисправностей отличаются друг от друга.

Таблица 4.1

Таблица пар функций  $e_i, e_j$ .

Номер набора	Входные переменные		$e_i, e_j$															Число единиц в строке											
	$a$	$b$	$c$	1-2	1-4	1-5	1-8	1-11	1-15	2-4	2-5	2-8	2-11	2-15	4-5	4-8	4-11	4-15	5-8	5-11	5-15	8-11	8-15	11-15	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	
0	0	0	0			1		1	1		1		1	1	1			1	1	1			1	1	10	5	3	-	
1	0	0	1	1	1	1	1	1																	6	3	2	1	
2	0	1	0					1					1					1			1		1	1	6	2	1	-	
3	0	1	1	1				1	1	1		1	1	1	1	1				1	1	1	1	12	5	-	-		
4	1	0	0				1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	1	1			12	-	-	-		
5	1	0	1	1			1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1			12	3	2	1		
6	1	1	0					1	1	1		1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	10	2	-	-		
7	1	1	1					1	1	1		1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	10	2	-	-		

## Диагностический тест

Номер набора	Входные переменные			Функции неисправностей							$e_0$
	$a$	$b$	$c$	$e_1$	$e_2$	$e_4$	$e_5$	$e_8$	$e_{11}$	$e_{15}$	
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
3	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0
4	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0

После получения диагностического теста данным методом необходимо проверить, имеются ли в данном тесте лишние наборы входных переменных. Для этого необходимо последовательно исключать каждый из наборов входных переменных и анализировать функции неисправностей, если они отличаются друг от друга, значит, этот набор входных переменных можно удалить.

Для определения места и вида неисправности на входы устройства последовательно подаются наборы входных переменных 0, 1, 3, 4, записываются выходные сигналы и с помощью таблицы диагностического теста определяют имеющуюся неисправность ( $e_1$ – $e_{15}$ ).

Данный диагностический тест не может быть контролирующим, так как выходные сигналы исправной схемы  $e_0$  совпадают с выходными сигналами при второй неисправности  $e_2$ , но при применении диагностического теста уже известно, что схема неисправна.

При проверке устройства необходимо учитывать наличие в нем необнаруживаемых и неразличимых неисправностей.

Так как в схеме существует необнаруживаемая неисправность  $e_{10}$  (табл. 2.2), то, если в результате применения контролирующего теста получаем выходные сигналы, соответствующие  $e_0$  (табл. 3.2), необходимо убедиться, что схема исправна. Для этого необходимо проверить сигнал в точке 5 (см. схему устройства на рис. 1.1). Если сигнал в точке 5 равен входному сигналу «а» и меняется с изменением этого сигнала, следовательно, схема исправна. Если сигнал в точке 5 при изменении входного сигнала «а» не меняется и равен нулю, то имеет место неисправность типа «0» в точке 5.

Если в результате применения диагностического теста обнаруживают неисправность, входящую в группу неразличимых неисправностей, то для выявления конкретной неисправности необходимо дополнительно проверить сигналы в конкретных точках схемы. Так, например, если выявлена неисправность  $e_5$ , то необходимо проверить сигнал в точке 3 при входном сигнале  $c = 0$ , сигнал в точке 5 при входном сигнале  $a = 0$  и сигнал в точке 7 при  $a = c = 0$ .



## **Список использованных источников**

1. Грейнер, Г. Р. Проектирование бесконтактных управляющих логических устройств промышленной автоматики / Г. Р. Грейнер, В. П. Ильяшенко. – М. : Энергия, 1977. – 384 с.
2. Васильев, С. В. Оформление курсовых работ, дипломных и курсовых проектов: методическое пособие для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» / С. В. Васильев, Е. П. Раткевич. – Минск : БНТУ, 2012. – 37 с.

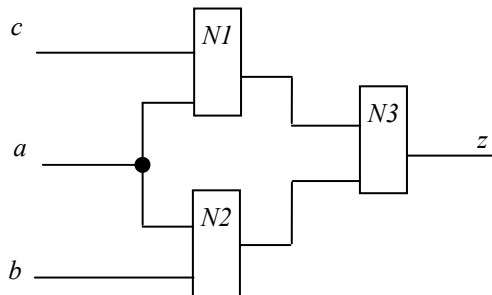
## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Схема логического устройства и варианты индивидуального задания

#### *Варианты индивидуального задания*

Номер варианта	Логическая функция элемента			Номер варианта	Логическая функция элемента		
	1	2	3		1	2	3
1	или	или	или	24	или	и-не	и-не
2	или	и	или	25	или-не	и-не	и
3	или	или	и	26	или-не	и-не	и-не
4	и	или	или	27	и	или	или-не
5	и	и	или	28	и	или-не	или
6	и	или	и	29	и	или-не	или-не
7	или	и	и	30	и-не	или-не	или
8	или	или-не	или	31	и-не	или-не	или-не
9	или-не	или	или	32	или	или	и-не
10	или	или	или-не	33	или	или-не	и-не
11	или	или-не	или-не	34	или-не	или	и-не
12	или-не	или-не	или	35	или-не	или-не	и-не
13	или-не	или	или-не	36	и	и	или-не
14	или-не	или-не	или-не	37	и	и-не	или-не
15	и	и	и-не	38	и-не	и	или-не
16	и	и-не	и	39	и-не	и-не	или-не
17	и-не	и	и	40	или-не	или-не	и
18	и-не	и-не	и	41	и-не	и-не	или
19	и-не	и	и-не	42	или-не	и	или-не
20	и	и-не	и-не	43	или-не	и-не	или-не
21	и-не	и-не	и-не	44	и-не	или	и-не
22	или	и	и-не	45	и-не	или-не	и-не
23	или	и-не	и	46	или	и-не	и

#### *Схема логического устройства для индивидуального задания*



Учебное издание

**ВАСИЛЬЕВ** Дмитрий Сергеевич

**НАЛАДКА И ДИАГНОСТИКА СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

Учебно-методическое пособие  
по выполнению контрольной работы  
для студентов заочной формы обучения  
специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

Редактор *Т. А. Зезюльчик*  
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 28.11.2014. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 1,05. Уч.-изд. л. 0,82. Тираж 100. Заказ 1169.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.