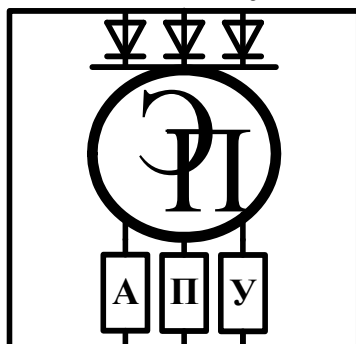


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В РОБОТОТЕХНИКЕ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для магистрантов направления подготовки
15.04.06 «Мехатроника и робототехника»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2023

УДК 629.113:004.65
ББК 39.33:32.973
И74

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» «30» ноября 2022 г., протокол № 4

Составитель канд. техн. наук, доц. Л. Г. Черная

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

В методических рекомендациях к практическим занятиям для магистрантов направления подготовки 15.04.06 «Мехатроника и робототехника» изложены особенности проведения обработки результатов экспериментальных исследований, синтеза одноктактных и многотактных систем в робототехнике, вероятности и безотказной работы и надежности приборов, методики исследования основных информационных устройств и каналов измерения, применяемых в робототехнических системах.

Учебно-методическое издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Ответственный за выпуск	С. М. Фурманов
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Введение.....	4
1 Практическое занятие № 1. Определение доверительного интервала измерений.....	5
2 Практическое занятие № 2. Определение доверительной вероятности измерений.....	9
3 Практическое занятие № 3. Синтез одноктактных робототехнических систем.....	12
4 Практическое занятие № 4. Синтез многотактных робототехнических систем	17
5 Практическое занятие № 5. Расчет вероятности безотказной работы приборов.....	23
6 Практическое занятие № 6. Расчет надежности систем в робототехнике	28
7 Практическое занятие № 7. Определение значения функции преобразования измерительного канала информационно-измерительной системы.....	33
8 Практическое занятие № 8. Определение информационной пропускной способности канала измерения	37
Список литературы.....	40

Введение

Практические занятия по дисциплине «Информационные системы в робототехнике» прививают магистрантам навык исследований, облегчают восприятие и понимание основных теоретических положений, способствуя их более глубокому усвоению.

В результате проведения практических занятий магистранты должны получить совокупность знаний и умений, которые необходимы им для успешного решения задач, связанных с выбором информационных устройств и систем и умением правильно их эксплуатировать.

Методические рекомендации соответствуют программе «Информационные системы в робототехнике». Они служат основой для проведения аудиторных практических занятий с последующим оформлением и анализом результатов заданий, предусматривают изучение теоретического материала по учебной литературе.

1 Практическое занятие № 1. Определение доверительного интервала измерений

Цель занятия: получение навыков расчета доверительного интервала.

Задание

Определить доверительный интервал Δx в выражении коэффициента надежности a ,

$$\text{Вероятность } (-\Delta x < x_i - \bar{x} < \Delta x) = a,$$

чтобы примерно 97 % результатов измерений попадали в него, если для истинного значения измеряемой величины x_i среднее арифметическое значение \bar{x} , полученное в результате измерений, средняя квадратичная погрешность единичного измерений $\sigma = S_n$.

$$S_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}; \quad (1.1)$$

$$S_n = \sqrt{S_n^2},$$

где n – число измерений.

Исходные данные для определения доверительного интервала представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты измерений

N	1	2	3	4	5	6	7	8
x_i	7,95	8,12	8,05	8,01	7,97	7,89	7,92	8,0

Методические рекомендации по выполнению задания

Обозначим истинное значение измеряемой величины через x_i , погрешность измерения этой величины Δx , среднее арифметическое значение, полученное в результате измерений, будет \bar{x} . Пусть α означает вероятность того, что результат измерений отличается от истинного значения на величину, не большую, чем Δx .

Это принято записывать в виде

$$\text{Вероятность } (-\Delta x < x_i - \bar{x} < \Delta x) = \alpha \quad (1.2)$$

или

$$\text{Вероятность } (\bar{x} - \Delta x < x_i < \bar{x} + \Delta x) = \alpha. \quad (1.3)$$

Вероятность α называется *коэффициентом надежности*. Интервал значений от $\bar{x} - \Delta x$ до $\bar{x} + \Delta x$ называется *доверительным интервалом*.

Выражение (1.1) означает, что с вероятностью, равной α , истинное значение измеряемой величины не выходит за пределы доверительного интервала от $\bar{x} - \Delta x$ до $\bar{x} + \Delta x$. Разумеется, чем большей надежности мы требуем, тем большим получается соответствующий доверительный интервал, и, наоборот, чем больший доверительный интервал задаем, тем вероятнее, что результаты измерений не выйдут за его пределы.

Итак, для характеристики величины случайной ошибки необходимо задать два числа, а именно величину самой ошибки (или доверительного интервала) и величину коэффициента надежности. Указание одной только величины ошибки без указания соответствующего ей коэффициента надежности в значительной мере лишено смысла, т. к. при этом не знаем, сколь надежны данные. Знание доверительной вероятности позволяет оценить степень надежности полученного результата. Необходимая степень надежности полученного результата задается характером производимых измерений. Более высокая степень надежности, требуемая при ответственных измерениях, означает, что при их производстве нужно выбирать большой (в долях σ) доверительный интервал. Иначе говоря, для получения той же величины ошибки Δx следует производить измерения с большей точностью, т. е. нужно тем или иным способом уменьшить в соответствующее число раз величину σ . Одна из возможностей такого увеличения состоит в многократном повторении измерений.

При обычных измерениях можно ограничиться коэффициентом надежности 0,9 или 0,95.

Для измерений, по условиям которых требуется чрезвычайно высокая степень надежности, иногда задают коэффициент надежности 0,997. Большая величина доверительной вероятности в подавляющем большинстве измерительных задач не требуется.

Для любой величины доверительного интервала по формуле Гаусса может быть рассчитан соответствующий коэффициент надежности a . Эти вычисления были проделаны, и их результаты сведены в таблицу 1.2.

Доверительный интервал, выраженный в долях средней квадратичной ошибки, определяется по формуле

$$\varepsilon = \Delta x / \sigma. \quad (1.4)$$

Приведем примеры пользования таблицей 1.2 для определения доверительного интервала.

Исходные данные для расчета доверительного интервала представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.2 – Коэффициент надежности α для доверительного интервала, выраженного в долях средней квадратичной ошибки $\varepsilon = \Delta x / \sigma$

ε	α	ε	α	ε	α
0,0	0,0	1,2	0,77	2,6	0,990
0,05	0,04	1,3	0,80	2,7	0,993
0,10	0,08	1,4	0,84	2,8	0,995
0,15	0,12	1,5	0,87	2,9	0,996
0,20	0,16	1,6	0,89	3,0	0,997
0,30	0,24	1,7	0,91	3,1	0,9981
0,40	0,31	1,8	0,93	3,2	0,9986
0,50	0,38	1,9	0,94	3,3	0,9990
0,60	0,45	2,0	0,95	3,4	0,9993
0,70	0,51	2,1	0,964	3,5	0,9995
0,80	0,57	2,2	0,972	3,6	0,9997
0,90	0,63	2,3	0,978	3,7	0,9998
1,00	0,68	2,4	0,984	3,8	0,99986
1,10	0,73	2,5	0,988	3,9	0,99990
				4,0	0,99993

Таблица 1.3 – Результаты измерений

N	1	2	3	4	5	6	7	8
x_i	5,2	4,7	4,9	5,0	4,6	4,8	5,1	5,0

Среднее значение

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{5,2 + 4,7 + 4,9 + 5 + 4,6 + 4,8 + 5,1 + 5}{8}} = 4,9125.$$

Среднеквадратичная погрешность измерений определяется по формуле

$$\sigma = S_n = \sqrt{S_n^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

$$\Delta_1^2 = (5,2 - 4,9125)^2 = 0,081225.$$

$$\Delta_2^2 = (4,7 - 4,9125)^2 = 0,04515625.$$

$$\Delta_3^2 = (4,9 - 4,9125)^2 = 0,00015625.$$

$$\Delta_4^2 = (5 - 4,9125)^2 = 0,00765625.$$

$$\Delta_5^2 = (4,6 - 4,9125)^2 = 0,09765625.$$

$$\Delta_6^2 = (4,8 - 4,9125)^2 = 0,01265625.$$

$$\Delta_7^2 = (5,1 - 4,9125)^2 = 0,03512625.$$

$$\Delta_8^2 = (5 - 4,9125)^2 = 0,00765625.$$

$$\sigma = S_n = 0,2.$$

Необходимо определить интервал Δx , чтобы примерно 95 % результатов измерений попадали в него.

Из таблицы 1.2 находим, что значению $\alpha = 0,95$ соответствует значение $\varepsilon = 2$, следовательно, применив формулу (1.4), имеем $\Delta x = \sigma \cdot \varepsilon = 0,2 \cdot 2 = 0,4$.

Заданному коэффициенту надежности a , равному 0,95 (95 %), соответствует доверительный интервал от $\bar{x} - \Delta x$ до $\bar{x} + \Delta x$.

$$4,91 - 0,4 < x_i < 4,91 + 0,4;$$

$$4,51 < x_i < 5,31$$

или

$$\text{Вероятность } (\bar{x} - \Delta x < x_i < \bar{x} + \Delta x) = \alpha;$$

$$\text{Вероятность } (4,51 < x_i < 5,31) = 95 \% .$$

Оформление результатов выполнения задания

- 1 Номер и тема практического занятия.
- 2 Цель занятия.
- 3 Задание.
- 4 Расчетные формулы с пояснениями.
- 5 Таблица 1.2.
- 6 Полученные значения доверительного интервала.
- 7 Выводы.

2 Практическое занятие № 2. Определение доверительной вероятности измерений

Цель занятия: получение навыков расчета доверительной вероятности измерений.

Задание

Определить доверительную вероятность P ,

$$P(-\Delta x < x_i - \bar{x} < \Delta x) = \alpha,$$

если для истинного значения измеряемой величины x_i погрешность измерения этой величины $\Delta x = \pm 0,01$, среднее арифметическое значение \bar{x} , полученное в результате измерений, средняя квадратичная погрешность единичного измерений $\sigma = S_n$.

$$S_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}; \quad (2.1)$$

$$S_n = \sqrt{S_n^2},$$

где n – число измерений.

Исходные данные для определения доверительного интервала представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты измерений

N	1	2	3	4	5	6	7	8
x_i	2,01	2,08	1,97	1,94	2,15	2,0	2,06	2,08

Методические рекомендации по выполнению задания

Обозначим истинное значение измеряемой величины через x_i , погрешность измерения этой величины Δx , среднее арифметическое значение, полученное в результате измерений, будет \bar{x} . Пусть $P = \alpha$ означает вероятность того, что результат измерений отличается от истинного значения на величину, не большую, чем Δx .

Это принято записывать в виде

$$P(-\Delta x < x_i - \bar{x} < \Delta x) = \alpha \quad (2.2)$$

или

$$P(\bar{x} - \Delta x < x_i < \bar{x} + \Delta x) = \alpha. \quad (2.3)$$

Вероятность $P = \alpha$ называется *доверительной вероятностью*, или коэффициентом надежности. Интервал значений от $\bar{x} - \Delta x$ до $\bar{x} + \Delta x$ называется *доверительным интервалом*.

Выражение (2.1) означает, что с вероятностью P , равной α , истинное значение измеряемой величины не выходит за пределы доверительного интервала от $\bar{x} - \Delta x$ до $\bar{x} + \Delta x$.

При обычных измерениях можно ограничиться доверительной вероятностью P , равной 0,9 или 0,95.

Для любой величины доверительного интервала по формуле Гаусса может быть рассчитана соответствующая доверительная вероятность $P = \alpha$. Эти вычисления были проделаны, и их результаты сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Коэффициент надежности α для доверительного интервала, выраженного в долях средней квадратичной ошибки $\varepsilon = \Delta x / \sigma$

ε	α	ε	α	ε	α
0,0	0,0	1,2	0,77	2,6	0,990
0,05	0,04	1,3	0,80	2,7	0,993
0,10	0,08	1,4	0,84	2,8	0,995
0,15	0,12	1,5	0,87	2,9	0,996
0,20	0,16	1,6	0,89	3,0	0,997
0,30	0,24	1,7	0,91	3,1	0,9981
0,40	0,31	1,8	0,93	3,2	0,9986
0,50	0,38	1,9	0,94	3,3	0,9990
0,60	0,45	2,0	0,95	3,4	0,9993
0,70	0,51	2,1	0,964	3,5	0,9995
0,80	0,57	2,2	0,972	3,6	0,9997
0,90	0,63	2,3	0,978	3,7	0,9998
1,00	0,68	2,4	0,984	3,8	0,99986
1,10	0,73	2,5	0,988	3,9	0,99990
				4,0	0,99993

Доверительный интервал, выраженный в долях средней квадратичной ошибки, определяется по формуле

$$\varepsilon = \Delta x / \sigma. \quad (2.4)$$

Приведем примеры пользования таблицей 2.2 для определения доверительной вероятности $P = \alpha$.

Исходные данные для расчета доверительной вероятности $P = \alpha$ представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты измерений

N	1	2	3	4	5	6	7	8
x_i	5,2	4,7	4,9	5,0	4,6	4,8	5,1	5,0

Определить доверительную вероятность $P = a$, если погрешность измерения равна $\Delta x = \pm 0,2$.

Среднее значение

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{5,2 + 4,7 + 4,9 + 5 + 4,6 + 4,8 + 5,1 + 5}{8}} = 4,9125.$$

Среднеквадратичная погрешность измерений определяется по формуле

$$\sigma = S_n = \sqrt{S_n^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}};$$

$$\sigma = S_n = 0,2.$$

Пусть для некоторого ряда измерений x_i получили $\bar{x} = 4,9125$, $\sigma = 0,2$.

Какова вероятность того, что результат отдельного измерения x_i не выйдет за пределы, определяемые неравенством $\bar{x} - \Delta x < x_i < \bar{x} + \Delta x$?

Рассчитаем доверительный интервал, выраженный в долях средней квадратичной ошибки, по формуле (2.4):

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\sigma} = \frac{0,2}{0,2} = 1,0.$$

Из таблицы 2,2 находим, что доверительная вероятность для $\varepsilon = 1,0$ равна 0,68.

Таким образом,

$$P(4,91 - 0,2 < x_i < 4,91 + 0,2) = 68 \%$$

или

$$P(4,71 - 0,2 < x_i < 5,11) = 68 \%.$$

Оформление результатов выполнения задания

1 Номер и тема практического занятия.

2 Цель занятия.

- 3 Задание.
- 4 Расчетные формулы с пояснениями.
- 5 Таблица 2.2.
- 6 Полученные значения доверительной вероятности.
- 7 Выводы.

3 Практическое занятие № 3. Синтез однотоктных робототехнических систем

Цель занятия: освоение приемов построения однотоктных систем программно-логического управления на основе аппаратных средств автоматизации.

Задание

Разработать однотоктную систему программно-логического управления на основе комбинационной модели с использованием бесконтактных логических элементов.

Объект управления

1 Разработать систему управления браковочным устройством. Устройство содержит три дефектоскопа, одновременно контролирующих три зоны листа материала. При наличии в зоне дефекта дефектоскоп вырабатывает единичный сигнал. Если в листе больше, чем один дефект, устройство должно подать единичный сигнал на толкатель, который сбрасывает негодный лист в бункер.

2 Разработать систему управления, обеспечивающую сортировку деталей по размеру $1a$ и $2a$. Контроль размеров деталей можно осуществить тремя датчиками d_1, d_2, d_3 , установленными поперек роликового транспортера.

Методические рекомендации по выполнению задания

В некоторых робототехнических системах управление вызвано не только отклонением технологических величин от номинальных значений, но и необходимостью выполнения технологических операций в определенное время, с определенной продолжительностью и в строго определенной последовательности. Причинами смены операций могут быть команды человека или автоматического устройства, выдающего их после получения сигналов от датчиков об окончании предыдущей операции в соответствии с заложенной в него программой. Управление технологических процессов переключательного типа называется программно-логическим.

Системы программно-логического управления, помимо управления механизмами технологических агрегатов, выполняют следующие функции: блокируют механизмы; контролируют состояние оборудования и выполняемые ими действия; сигнализируют об этом; включают и отключают локальные замкну-

тые системы регулирования.

Системы автоматической сигнализации и блокировки строят с использованием методов синтеза переключательных схем, содержащих, если необходимо, элементы памяти. Управление дискретными процессами, когда технологическое оборудование соединено в цепочку и выполняется ряд наперед заданных операций, реализуется с помощью жестких автоматов. Техническая реализация таких систем управления рациональна с помощью программируемых микропроцессорных контроллеров, ЭВМ, бесконтактных логических элементов (интегральных микросхем), релейно-контакторной аппаратуры.

Существуют различные формы представления моделей дискретных последовательностей операций. Они могут быть представлены в виде таблиц состояния, циклограмм, графов. В комбинационных моделях, описывающих одноктактные системы управления, дальнейший ход цикла определяется состоянием входов и выходов объекта управления только в данном такте. В последовательных моделях, описывающих многотактные системы управления, необходимо отражать однозначное соответствие состояния выходов комбинациям состояния входов как на данном такте, так и в предыдущих.

Одноктактной системой управления называют систему, в которой выходной сигнал управления в любой момент времени полностью определяется входными сигналами в тот же момент времени. Синтез одноктактных систем управления проводится в несколько этапов.

Первый этап – построить таблицу состояния.

При числе входов n возможно $N = 2^n$ сочетаний комбинаций их «единичного» и «нулевого» уровней.

Второй этап – записать логическую функцию (алгоритм функционирования).

При составлении алгоритмов функционирования исполнительных механизмов применяют правило истинности (правило «единиц») или же правило ложности (правило «нулей»). Согласно правилу «единиц», для строк таблиц состояния, где выходная величина «единица», определяют произведение входных величин и складывают их, т. е. определяют дизъюнкцию конъюнкций входных переменных. Если значение входной величины «ноль», то берут ее инверсию.

Третий этап – реализовать алгоритм функционирования выбранным базисом элементов.

В качестве примера рассмотрим синтез одноктактной системы управления, (рисунок 3.1), обеспечивающей сортировку деталей по размеру $1a$ и $2a$, $3a$. Контроль размеров деталей можно осуществить тремя датчиками d_1 , d_2 , d_3 , установленными поперек роликового транспортера.

В соответствии с заданным алгоритмом управления для каждой комбинации записываем значение выходного сигнала. Выходной сигнал 0 или 1 соответственно означает, сработали или нет толкатели роботизированного комплекса Т3 и Т2. Если на роликовый транспортер попадает деталь размера $1a$, то толкатели не срабатывают и она отправляется в бункер Б1. Если деталь имеет размер $2a$, то срабатывает толкатель Т2 и деталь отправляется в бункер Б2. Если деталь имеет размер $3a$, то срабатывает толкатель Т3 и деталь отправляется в бункер Б3.

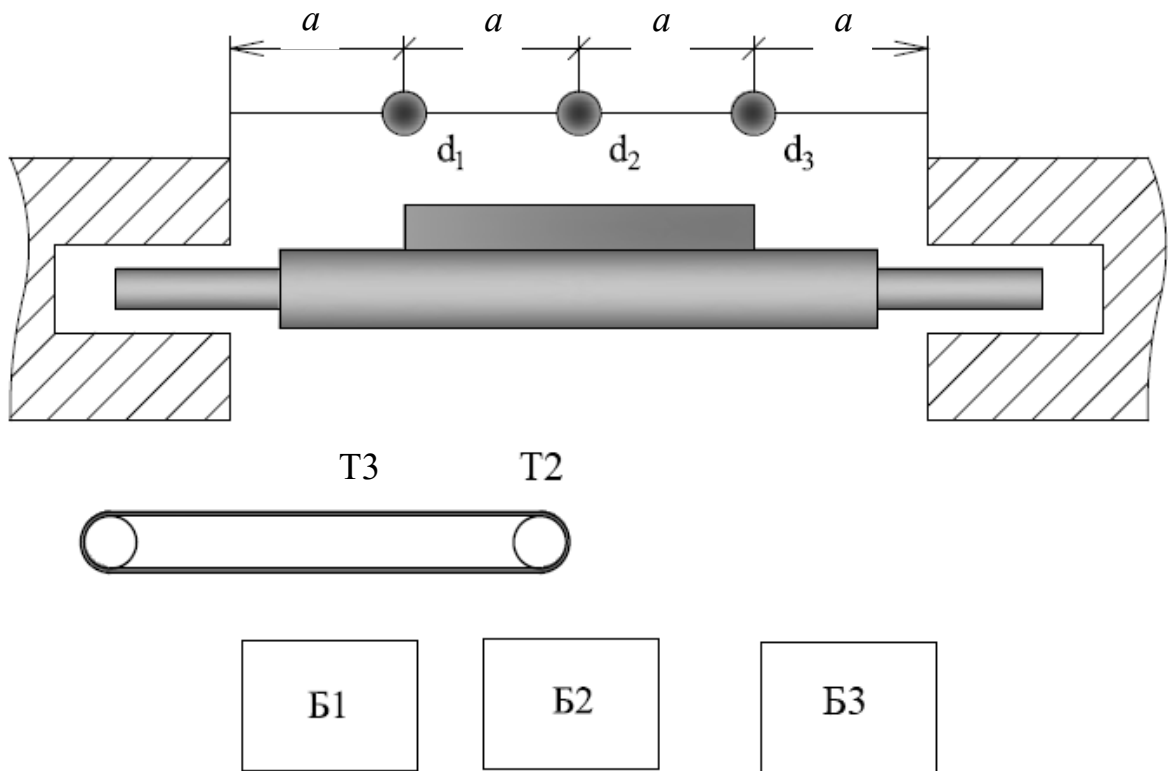


Рисунок 3.1 – Схема технологической установки роботизированного комплекса

Состояние входов и выходов представлено в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Состояния входов и выходов для срабатывания толкателей

Номер комбинации	Состояние				
	ВХОДОВ			ВЫХОДОВ	
	d_3	d_2	d_1	T_2	T_3
1	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0
3	0	1	0	0	0
4	0	1	1	1	0
5	1	0	0	0	0
6	1	0	1	–	–
7	1	1	0	1	0
8	1	1	1	–	1

Алгоритм функционирования исполнительных механизмов (толкателей) запишем в виде логической суммы:

$$T_3 \rightarrow d_1 d_2 d_3;$$

$$T_2 \rightarrow d_1 d_2 \bar{d}_3 + \bar{d}_1 d_2 d_3.$$

Выбор микросхем для реализации алгоритма функционирования

Микросхема КР1533ЛИЗ – DD1 (рисунок 3.2).

Микросхема содержит три идентичных логических элемента со стандартными выходами, выполняющих булевы функции $Y = D_1 \cdot D_2 \cdot D_3$ или $\bar{Y} = \bar{D}_1 + \bar{D}_2 + \bar{D}_3$ в положительной логике; 3-И.

Расположение выводов

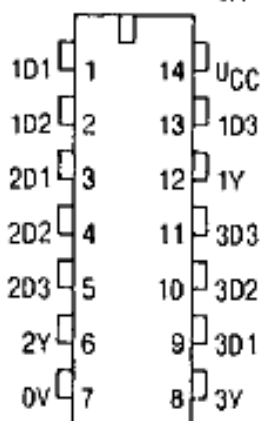


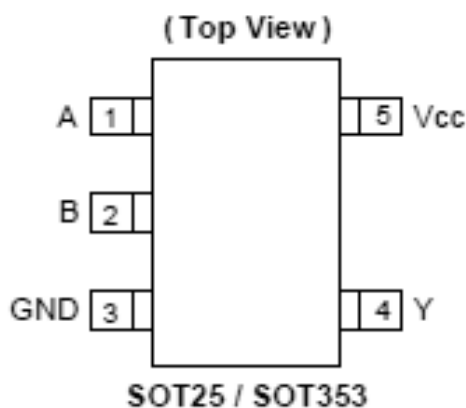
Таблица назначения выводов

01	1D1	Вход информационный
02	1D2	Вход информационный
03	2D1	Вход информационный
04	2D2	Вход информационный
05	2D3	Вход информационный
06	2Y	Выход
07	0V	Общий вывод
08	3Y	Выход
09	3D1	Вход информационный
10	3D2	Вход информационный
11	3D3	Вход информационный
12	1Y	Выход
13	1D3	Вход информационный
14	UCC	Напряжение питания

Рисунок 3.2 – Расположение и таблица назначений выводов микросхемы КР1533ЛИЗ

Микросхема 74LVC1G32 – DD2 (рисунок 3.3).

Микросхема содержит один логический элемент ИЛИ, выполняющий булеву операцию $Y = A + B$ или $Y = \bar{A} \cdot \bar{B}$.



Pin Name	Description
A	Data Input
B	Data Input
GND	Ground
Y	Data Output
Vcc	Supply Voltage
NC	No Connection

H1, H2 – электропневматические преобразователи робототехнической системы

Рисунок 3.3 – Расположение и таблица назначений выводов микросхемы 74LVC1G32

Микросхема NL27WZU04 – DD3 (рисунок 3.4).

Микросхема содержит два идентичных логических элемента со стандартными выходами, выполняющих булевы функции $Y = \bar{A}$; 2 НЕ.

На основе выбранных микросхем и имеющихся логических функций составим схему аппаратной реализации алгоритма функционирования толкателями (рисунки 3.5 и 3.6).

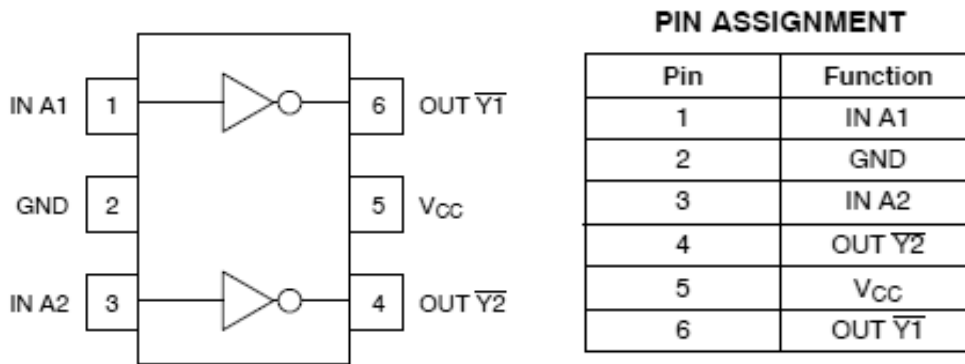
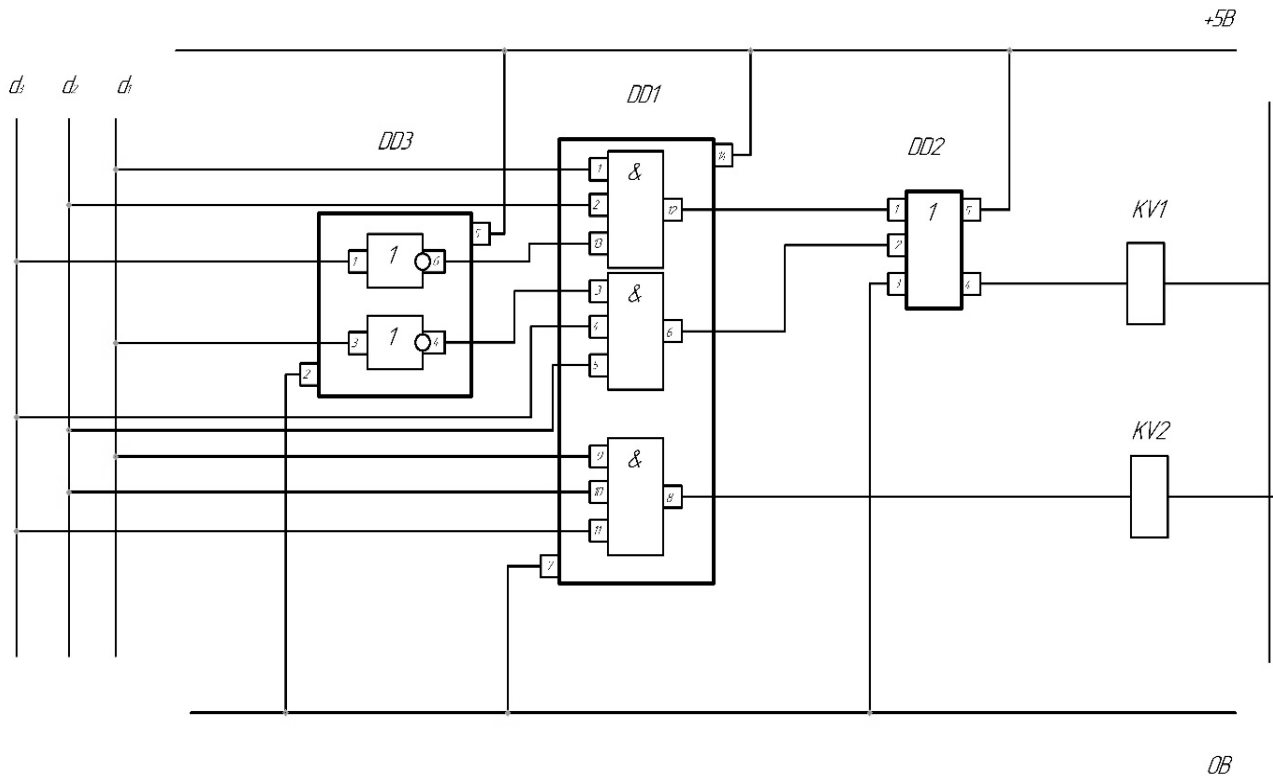


Рисунок 3.4 – Расположение и таблица назначений выводов микросхемы NL27WZU04



KV1, KV2 – промежуточные реле

Рисунок 3.5 – Схема однофазной системы программно-логического управления сортировки деталей на базе логических элементов

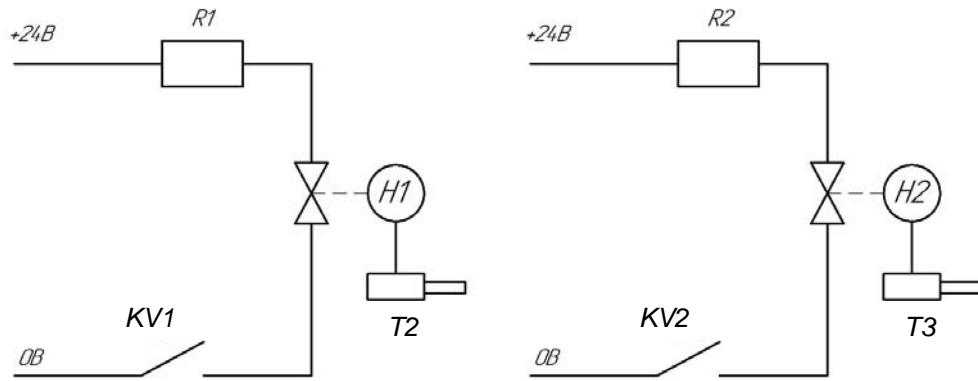


Рисунок 3.6 – Схема однофазной системы программно-логического управления толкателями для сортировки деталей

Оформление результатов выполнения задания

- 1 Титульный лист.
- 2 Цель работы.
- 3 Задание.
- 4 Схема робототехнического комплекса объекта управления с размещением датчиков и исполнительных механизмов, описание работы установки.
- 5 Таблица состояния (комбинационная модель), алгоритм функционирования (логическая функция).
- 6 Реализация однофазной системы управления на базе бесконтактных логических элементов, перечень элементов.
- 7 Технические характеристики бесконтактных логических элементов, схемы подключения.
- 8 Выводы.

4 Практическое занятие № 4. Синтез многотактных робототехнических систем

Цель работы: освоение приемов построения многотактных систем программно-логического управления.

Задание

Разработать многотактную систему программного управления на основе последовательных моделей на базе аппаратных средств автоматизации.

Объект управления

- 1 Разработать автоматическую систему сигнализации, обеспечивающую зажигание лампы при превышении предельно допустимой температуры 156 °С

в двух точках объекта. Выключение лампы должно происходить только при уменьшении температуры до нормальной 110°C в двух точках объекта. Сигналы о превышении температуры вырабатываются с помощью двух сигнализаторов температуры.

2 Разработать систему автоматического управления доступа к IBM PC. Кратковременное появление на входе системы управления кода 010 разрешает долговременный доступ к памяти вычислительной машины, т. е. на выходе системы вырабатывается единичный сигнал. Кратковременное появление на входе системы кода 100 вызывает прекращение связи оператора с памятью машины.

Методические рекомендации по выполнению задания

Технологический цикл работы исполнительных механизмов системы программно-логического управления делится на отдельные технологические такты – это конечный интервал времени, когда оборудование функционирует с неизменной комбинацией включенных либо отключенных командных элементов (кнопки, ключи), оповестительных элементов (датчики) и исполнительных элементов (двигатели, клапаны, заслонки).

Общая последовательность построения алгоритма функционирования (логической функции) технологического цикла представлена следующим образом.

1 Первый этап – составляет содержательное описание технологического цикла, в котором в произвольной повествовательной форме описывается технологический цикл при нормальном его ходе, аварийных ситуациях, наладочных режимах.

2 Второй этап – разбивается технологический цикл на такты, характеризующиеся неизменным состоянием исполнительных элементов и контролируемых параметров.

3 Третий этап – проводится анализ переходов от одного такта к другому при нормальных неаварийных ситуациях для выявления причин переходов, т. е. выявления изменения состояния командных и исполнительных элементов, вызывающих переход.

4 Четвертый этап – устанавливаются причинно-следственные и логические связи между входными и выходными элементами объекта управления, обусловленные требованиями технологического процесса.

5 Пятый этап – составляет графическое представление алгоритма функционирования в виде графов, таблиц состояния.

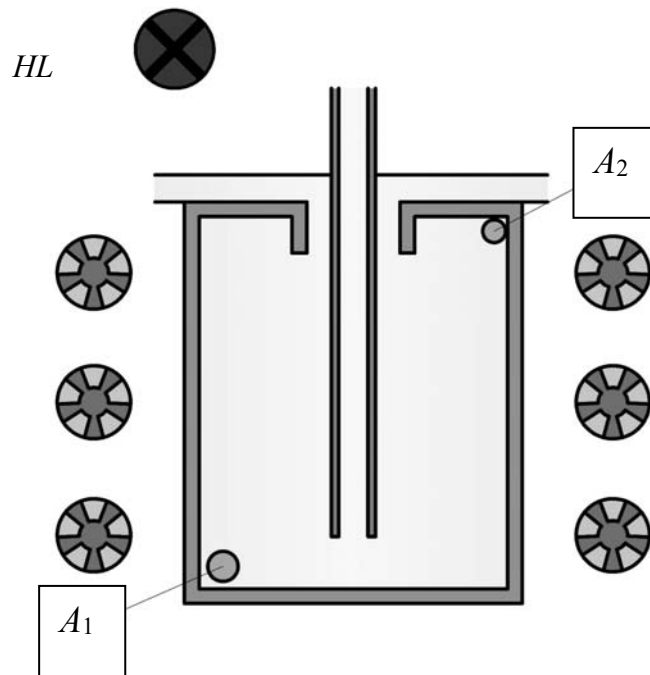
6 Шестой этап – записывается алгоритм функционирования.

В многотактной системе управления выходной сигнал управления в любой момент времени определяется входными сигналами в данный момент времени и выходными сигналами в предыдущие моменты.

Многотактная система должна содержать элементы памяти, запоминающие предыдущие значения выходных сигналов.

В качестве примера рассмотрим разработку автоматической системы сигнализации, обеспечивающую зажигание лампы *HL* (выходной сигнал *Y*) при превышении предельно допустимой температуры в двух точках объекта. Выключе-

ние лампы должно происходить только при уменьшении температуры до нормальной в двух точках объекта. Сигналы о превышении температуры вырабатываются с помощью двух сигнализаторов температуры A_1 , A_2 (рисунки 4.1 и 4.2).



A_1 , A_2 – сигнализаторы температуры с контактным выходом, установленные в двух точках объекта

Рисунок 4.1 – Схема технологической установки

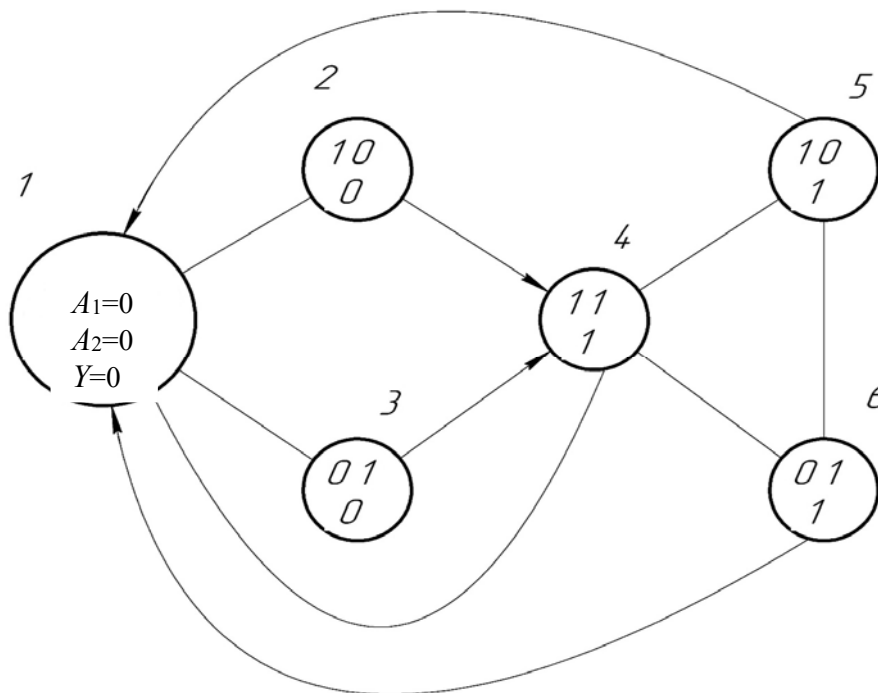


Рисунок 4.2 – Граф состояний системы (последовательная модель)

Наличие неоднозначных вершин, т. е. таких, в которых при равенстве входных сигналов выходной сигнал различен, указывает на то, что данная система не может быть одноктактной, а значит, необходимо синтезировать многотактную систему. В данном графе пары неоднозначных вершин: 2 и 5; 3 и 6.

Алгоритм функционирования на основании последовательной модели в виде графа выглядит следующим образом:

$$Y = \vee A_1 A_2 \cdot K; \quad (4.1)$$

$$K = 0 \text{ для } Y = 0;$$

$$K = 1 \text{ для } Y = 1;$$

$$K = Y \text{ для неоднозначных вершин (выход} = 1).$$

Определим значение выходного сигнала для каждой из вершин.

Вершина 0: $Y = 0$.

Вершина 1: $Y = 0$.

Вершина 2: $Y = 0$.

Вершина 3: $Y = 0$.

Вершина 4: $Y = A_1 A_2 \cdot 1$.

Вершина 5: $Y = A_1 \overline{A_2} \cdot Y$.

Вершина 6: $\rightarrow Y = \overline{A_1} A_2 \cdot Y$.

Алгоритм функционирования для сигнальной лампы Y (HL) имеет следующий вид:

$$Y = A_1 A_2 \cdot 1 + A_1 \overline{A_2} \cdot Y + \overline{A_1} A_2 \cdot Y = A_1 A_2 + (A_1 \overline{A_2} + \overline{A_1} A_2) Y.$$

В качестве устройства памяти воспользуемся асинхронным RS -триггером, уравнение работы которого имеет вид:

$$Q = S + \overline{R} \cdot Q. \quad (4.2)$$

На рисунке 4.3 представлена схема RS -триггера.

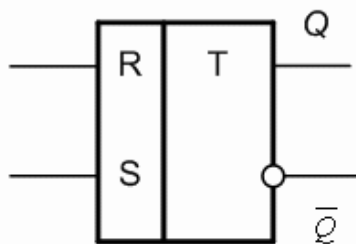


Рисунок 4.3 – Асинхронный RS -триггер

Преобразуем имеющуюся логическую функцию до вида, подобного алгоритму RS -триггера, используя двойное отрицание:

$$\overline{\overline{Y}} = \overline{\overline{A_1 A_2 + (A_1 \overline{A_2} + \overline{A_1} A_2) Y}}$$

Откуда имеем

$$Y = \overline{\overline{A_1 A_2 + (A_1 \overline{A_2} + \overline{A_1} A_2) Y}} = \overline{\overline{A_1 A_2} + \overline{\overline{A_1 \overline{A_2} + \overline{A_1} A_2} Y}} = \overline{\overline{A_1 A_2} + (\overline{A_1 \overline{A_2}} \cdot \overline{\overline{A_1} A_2}) Y}$$

При такой форме записи входам и выходам триггера соответствуют следующие ее составляющие:

$$S \Leftrightarrow \overline{\overline{A_1 A_2}}, \quad (4.3)$$

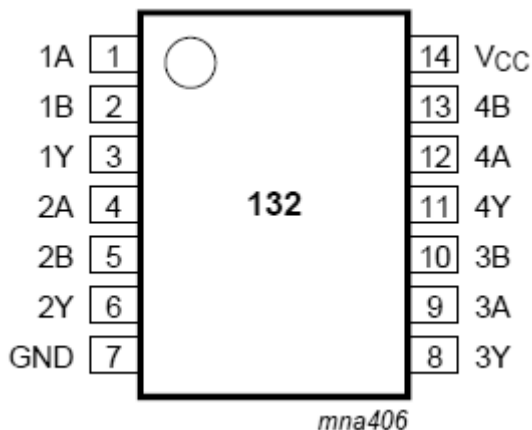
$$\overline{R} \Leftrightarrow \overline{\overline{\overline{A_1 \overline{A_2}} \cdot \overline{\overline{A_1} A_2}}}, \quad (4.4)$$

$$Y \Leftrightarrow Q. \quad (4.5)$$

Аппаратная реализация алгоритма функционирования

Микросхема 74HC132 – DD1, DD2 (4–2И-НЕ).

Микросхема содержит четыре идентичных логических элемента со стандартными выходами, выполняющих булевы функции $Y = \overline{A \cdot B}$ или $Y = \overline{A + B}$ в положительной логике – четыре элемента 2И-НЕ (рисунок 4.4).



Symbol	Pin	Description
1A to 4A	1, 4, 9, 12	data input
1B to 4B	2, 5, 10, 13	data input
1Y to 4Y	3, 6, 8, 11	data output
GND	7	ground (0 V)
V _{CC}	14	supply voltage

Рисунок 4.4 – Расположение и таблица назначений выводов микросхемы 74HC132

Микросхема SN74LVC2G02 – DD3 – RS-триггер.

Типовая схема асинхронного RS -триггера построена на основе двух логических элементов 2ИЛИ-НЕ (рисунок 4.5).

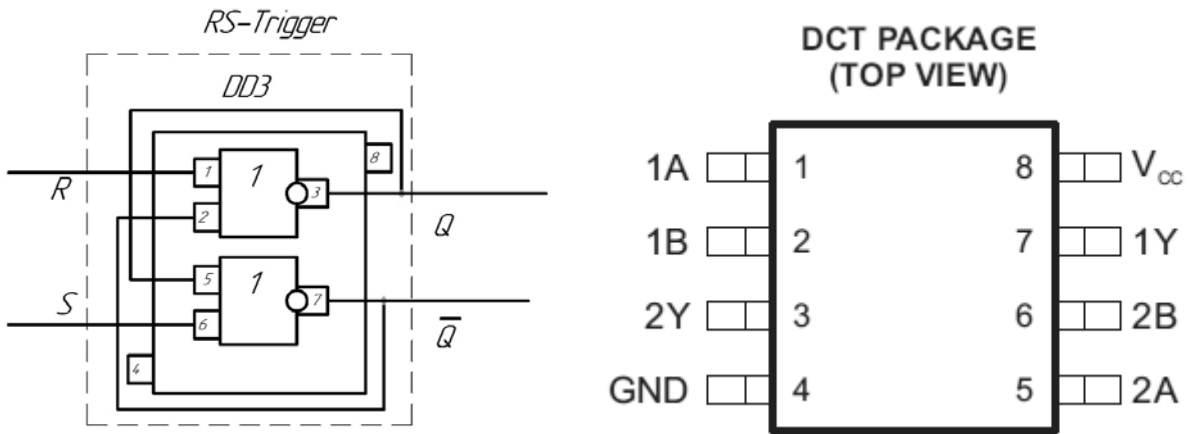


Рисунок 4.5 – Расположение выводов микросхемы SN74LVC2G02

На основе представленных микросхем и логической функции составим схему аппаратной реализации алгоритма включением сигнальной лампы (рисунок 4.6).

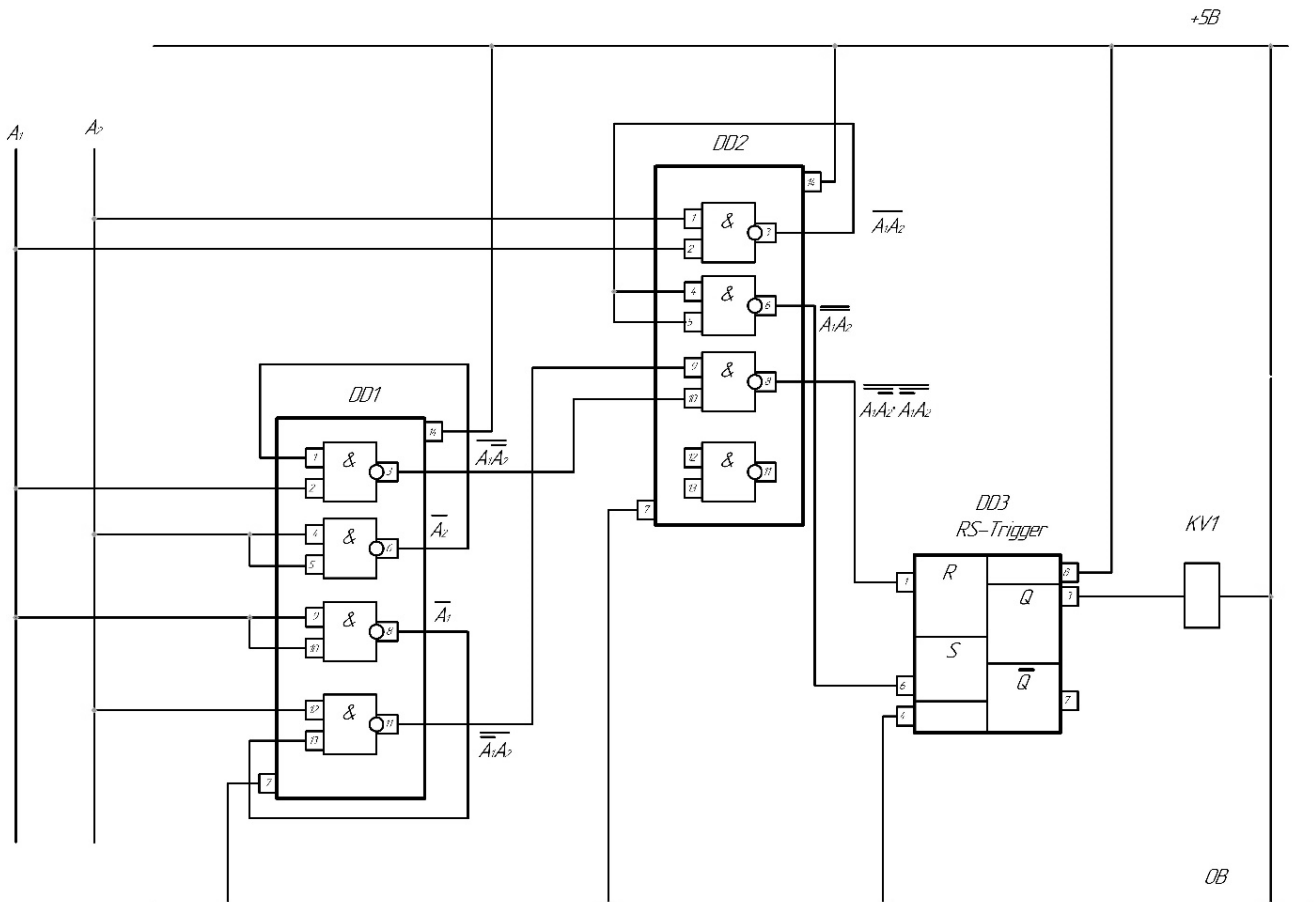


Рисунок 4.6 – Схема аппаратной реализации алгоритма функционирования многотактной системы программно-логического управления (сигнализация превышения температуры в двух точках объекта).

Оформление результатов выполнения задания

1 Титульный лист.

2 Цель работы.

3 Задание.

4 Схема технологической установки объекта управления с размещением датчиков и исполнительных механизмов, описание работы установки.

5 Таблица состояния, граф, последовательная модель, алгоритм функционирования.

6 Реализация алгоритма функционирования на бесконтактных логических элементах, технические характеристики, схема подключения.

7 Выводы.

5 Практическое занятие № 5. Расчет вероятности безотказной работы приборов

Цель занятия: освоение методики определения показателей надежности объектов, представляющих сложные системы без резервирования.

Задания

1 Прибор состоит из пяти узлов. Надежность узлов характеризуется вероятностью безотказной работы в течение времени t , которая равна $P_1(t) = 0,98$; $P_2(t) = 0,99$; $P_3(t) = 0,998$; $P_4(t) = 0,975$; $P_5(t) = 0,985$. Определить вероятность безотказной работы прибора.

2 Объект состоит из 200000 элементов, средняя интенсивность отказов которых $0,2 \cdot 10^{-6}$ 1/ч. Определить вероятность безотказной работы системы в течение 240 ч и среднее время безотказной работы.

3 Установка состоит из 3000 элементов, средняя интенсивность отказов которых $3,8 \cdot 10^{-6}$ 1/ч. Определить вероятность отказа установки в течение $t = 300$ ч и среднее время безотказной работы аппаратуры.

4 Прибор состоит из пяти блоков. Вероятность безотказной работы каждого блока в течение времени $t = 50$ ч равна $P_1(50) = 0,98$; $P_2(50) = 0,99$; $P_3(50) = 0,998$; $P_4(50) = 0,975$; $P_5(50) = 0,985$. Справедлив экспоненциальный закон надежности. Найти среднее время безотказной работы прибора.

Методические рекомендации по выполнению задания

Для освоения методики определения показателей надежности объектов, представляющих сложные системы без резервирования, рассмотрим примеры.

Пример 1 – Определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа основной системы, состоящей из пяти элементов, если вероятности безотказной работы элементов равны $P_1(t) = 0,98$; $P_2(t) = 0,97$; $P_3(t) = 0,99$; $P_4(t) = 0,98$; $P_5(t) = 0,96$.

Решение

Вероятность безотказной работы системы $P_c(t)$ определяем по следующей формуле:

$$P_c(t) = \prod P_i(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_5(t) = 0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,96 = 0,885.$$

Вероятность отказа $Q_c(t)$ системы

$$Q_c(t) = 1 - P_c(t) = 1 - 0,885 = 0,115.$$

Ответ: $P_c(t) = 0,885$ $Q_c(t) = 0,115$.

Пример 2 – Определить среднее время безотказной работы системы, если система состоит из трех элементов, среднее время безотказной работы которых равны 400, 200 и 500 ч, закон распределения – экспоненциальный.

Решение

Определим интенсивности отказов элементов по формуле

$$\lambda = \frac{1}{T}.$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{400} = 0,0025 \text{ 1/ч}; \quad \lambda_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{200} = 0,005 \text{ 1/ч};$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{T_3} = \frac{1}{500} = 0,002 \text{ 1/ч}.$$

Интенсивность отказа системы

$$\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 0,0025 + 0,005 + 0,002 = 0,0095 \text{ 1/ч}.$$

Наработку до отказа системы рассчитаем по формуле

$$T = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{0,0095} = 105,3 \text{ ч}.$$

Ответ: $T = 105,3$ ч.

Пример 3 – Система состоит из трех элементов, вероятности безотказной работы которых в течение 100 ч равны $P_1(100) = 0,95$; $P_2(100) = 0,99$;

$P_3(100) = 0,97$. Найти среднее время безотказной работы системы, закон распределения – экспоненциальный.

Решение

Определим вероятность безотказной работы системы:

$$P(100) = P_1(100) \cdot P_2(100) \cdot P_3(100) = 0,95 \cdot 0,99 \cdot 0,97 = 0,912.$$

Выразим интенсивность отказа системы из формулы:

$$\Lambda = -\frac{\ln P(t)}{t} = -\frac{\ln 0,912}{100} = 0,00092.$$

Среднее время безотказной работы системы

$$T = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{0,00092} = 1085,6 \text{ ч.}$$

Ответ: $T = 1085,6$ ч.

Пример 4 – Система состоит из 6000 элементов, средняя интенсивность отказов которых $\lambda_{cp} = 5,4 \cdot 10^{-7}$ 1/ч. Определить вероятность безотказной работы, вероятность отказа, плотность вероятности времени безотказной работы за время 100 ч и среднее время безотказной работы.

Решение

Интенсивность отказов системы определяем по следующей формуле:

$$\Lambda = \sum_i^n \lambda_i = n \cdot \lambda_{cp} = 6000 \cdot 5,4 \cdot 10^{-7} = 3,24 \cdot 10^{-3}.$$

Вероятность безотказной работы рассчитаем по формуле

$$P(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\Lambda t} = e^{-0,00324 \cdot 100} = 0,72.$$

Вероятность отказа системы

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,72 = 0,28.$$

Наработка до отказа системы

$$T = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{3,24 \cdot 10^{-3}} = 308,6 \text{ ч.}$$

Плотность вероятности времени безотказной работы

$$f(t) = \Lambda \cdot e^{-\Lambda t} = 3,24 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-3,24 \cdot 10^{-3} \cdot 100} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ 1 / ч.}$$

Пример 5 – Определить вероятность безотказной работы системы, состоящей из 500 элементов, если вероятность безотказной работы каждого элемента в течение времени t равна $P(t) = 0,998$.

Решение

С учетом того, что все элементы, входящие в систему, равнонадежные, вероятность безотказной работы этой системы $P_c(t)$ определяем по формуле

$$P_c(t) = \prod P_i(t) = P^i(t),$$

где i – количество элементов в системе.

$$P_c(t) = P(t)^{500} = 0,998^{500} = 0,368.$$

Ответ: $P_c(t) = 0,368$.

Пример 6 – Вероятность безотказной работы системы, состоящей из 150 равнонадежных элементов, в течение времени t равна $P_c(t) = 0,95$. Найти вероятность безотказной работы элемента.

Решение

С учетом того, что все элементы, входящие в систему, равнонадежные, вероятность безотказной работы этой системы $P_c(t)$ определяем по формуле

$$P_c(t) = \prod P_i(t) = P(t)^i,$$

где i – количество элементов в системе.

Тогда вероятность безотказной работы отдельного элемента

$$P(t) = \sqrt[i]{P_c(t)},$$

$$P(t) = \sqrt[150]{0,95} = 0,9997.$$

Ответ: $P(t) = 0,9997$.

Пример 7 – Блок управления состоит из 5000 элементов, средняя интенсивность отказов которых равна $2,3 \cdot 10^{-6}$ 1/ч. Определить вероятность безотказной работы в течение $t = 100$ ч и среднее время безотказной работы.

Решение

Интенсивность отказов системы определяем по следующей формуле:

$$\Lambda = \sum_i^n \lambda_i = n \cdot \lambda_{cp} = 5000 \cdot 2,3 \cdot 10^{-6} = 11,5 \cdot 10^{-3}.$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\Lambda t} = e^{-0,0115 \cdot 100} = 0,32.$$

Наработка до отказа системы

$$T = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{11,5 \cdot 10^{-3}} = 86,96 \text{ ч.}$$

Ответ: $T = 86,96$ ч, $P(t) = 0,32$.

Пример 8 – Система состоит из пяти элементов, среднее время безотказной работы которых равно $T_1 = 104$ ч; $T_2 = 200$ ч; $T_3 = 185$ ч; $T_4 = 350$ ч; $T_5 = 620$ ч. Показатели распределены по экспоненциальному закону. Определить среднее время безотказной работы системы.

Решение

Определим интенсивности отказов элементов по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{1}{T}.$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{104} = 0,0096 \text{ 1/ч; } \lambda_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{200} = 0,005 \text{ 1/ч;}$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{T_3} = \frac{1}{185} = 0,0054 \text{ 1/ч; } \lambda_4 = \frac{1}{T_4} = \frac{1}{350} = 0,0029 \text{ 1/ч;}$$

$$\lambda_5 = \frac{1}{T_5} = \frac{1}{620} = 0,0016 \text{ 1/ч.}$$

Интенсивность отказа системы

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 = 0,0096 + 0,005 + 0,0054 + 0,0029 + 0,0016 = 0,0245 \text{ 1/ч.}$$

Наработка до отказа системы

$$T = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{0,0245} = 40,8 \text{ ч.}$$

Ответ: $T = 40,8$ ч.

Оформление результатов выполнения задания

- 1 Титульный лист.
- 2 Цель работы.
- 3 Задание.
- 4 Основные формулы с пояснениями по определению показателей надежности.
- 5 Решения предложенных заданий.
- 6 Выводы.

6 Практическое занятие № 6. Расчет надежности систем в робототехнике

Цель занятия: освоение методики повышения надежности технической системы с применением резервирования.

Задание

1 Система состоит из четырех элементов, имеющих интенсивность отказов равную $\lambda_1 = 2,7 \cdot 10^{-7}$ 1/ч, $\lambda_2 = 3,2 \cdot 10^{-7}$ 1/ч, $\lambda_3 = 2,1 \cdot 10^{-7}$ 1/ч, $\lambda_4 = 4,3 \cdot 10^{-7}$ 1/ч. Изобразить структурную схему системы и определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа в течение $t = 60$ ч при общем резервировании системы.

2 Система состоит из четырех элементов, имеющих интенсивность отказов равную $\lambda_1 = 2,7 \cdot 10^{-7}$ 1/ч, $\lambda_2 = 3,2 \cdot 10^{-7}$ 1/ч, $\lambda_3 = 2,1 \cdot 10^{-7}$ 1/ч, $\lambda_4 = 4,3 \cdot 10^{-7}$ 1/ч. Изобразить структурную схему системы и определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа в течение $t = 60$ ч при поэлементном резервировании системы.

3 Определить количество резервных элементов с вероятностью отказа равной 0,05, для того, чтобы вероятность безотказной работы системы была равна $P_c(t) = 0,999$.

4 Система состоит из трех элементов с вероятностью безотказной работы, равной $P_1(t) = 0,9$, $P_2(t) = 0,92$, $P_3(t) = 0,87$. Определить вероятности безотказной работы системы при различных вариантах резервирования.

Методические рекомендации по выполнению задания

Для освоения методики повышения надежности технической системы с применением резервирования рассмотрим примеры.

Пример 1 – Система состоит из трех элементов с равной вероятностью безотказной работы равной 0,9. Определить вероятности безотказной работы системы при различных вариантах резервирования.

Решение

1 Расчет показателей надежности системы без резервирования.

Вероятность безотказной работы системы без резервирования определяется по следующей формуле:

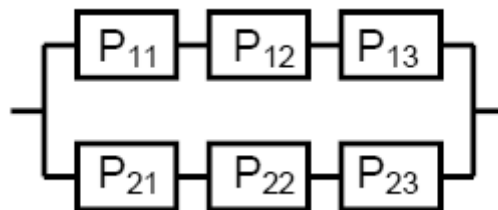
$$P_c(t) = P_i^3(t) = 0,9^3 = 0,729.$$

Вероятность отказа системы без резервирования рассчитывается следующим образом:

$$Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) = 1 - 0,9^3 = 1 - 0,729 = 0,271.$$

2 Расчет показателей надежности системы при общем резервировании.

Структурная схема системы с общим резервированием показана на рисунке 6.1.



P_{11} , P_{12} , P_{13} – вероятности безотказной работы элементов основной системы;
 P_{21} , P_{22} , P_{23} – вероятности безотказной работы элементов резервной системы

Рисунок 6.1 – Схема системы с общим резервированием

Вероятность отказа системы с общим резервированием определяется по формуле

$$Q_c(t) = Q_{OC}(t) \cdot Q_{PC}(t),$$

где $Q_{OC}(t)$ – вероятность отказа основной системы;

$Q_{PC}(t)$ – вероятность отказа резервной системы.

Вероятность отказа основной системы

$$Q_{OC}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) = 1 - 0,9^3 = 1 - 0,729 = 0,271.$$

Вероятность отказа резервной системы

$$Q_{PC}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) = 1 - 0,9^3 = 1 - 0,729 = 0,271.$$

Вероятность отказа системы

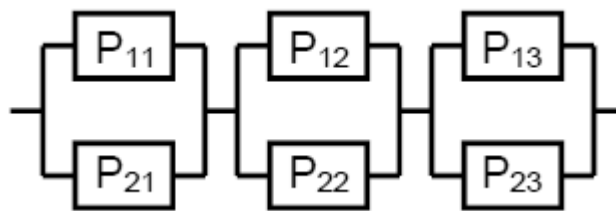
$$Q_c(t) = Q_{OC}(t) \cdot Q_{PC}(t) = 0,271 \cdot 0,271 = 0,073.$$

Вероятность безотказной системы с общим резервированием

$$P_c(t) = 1 - Q_c(t) = 1 - 0,073 = 0,927.$$

3 Расчет показателей надежности системы при поэлементном резервировании.

Структурная схема системы с поэлементным резервированием показана на рисунке 6.2.



P_{11}, P_{12}, P_{13} – вероятности безотказной работы основных элементов;
 P_{21}, P_{22}, P_{23} – вероятности безотказной работы резервных элементов

Рисунок 6.2 – Схема системы с поэлементным резервированием

Вероятность безотказной работы системы с поэлементным резервированием определяем по формуле

$$P_c(t) = P_{11-21}(t) \cdot P_{12-22}(t) \cdot P_{13-23}(t),$$

где $P_{11-21}(t)$ – вероятность безотказной работы группы из первого основного и резервного элементов;

$P_{12-22}(t)$ – вероятность безотказной работы группы из второго основного и резервного элементов;

$P_{13-23}(t)$ – вероятность безотказной работы группы из третьего основного и резервного элементов.

$$P_{11-21}(t) = 1 - (1 - P_{11}(t)) \cdot (1 - P_{21}(t)) = 1 - (1 - 0,9) \cdot (1 - 0,9) = 1 - 0,01 = 0,99;$$

$$P_{12-22}(t) = 1 - (1 - P_{12}(t)) \cdot (1 - P_{22}(t)) = 1 - (1 - 0,9) \cdot (1 - 0,9) = 1 - 0,01 = 0,99;$$

$$P_{13-23}(t) = 1 - (1 - P_{13}(t)) \cdot (1 - P_{23}(t)) = 1 - (1 - 0,9) \cdot (1 - 0,9) = 1 - 0,01 = 0,99.$$

Вероятность безотказной работы системы с поэлементным резервированием

$$P_c(t) = P_{11-21}(t) \cdot P_{12-22}(t) \cdot P_{13-23}(t) = 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,97.$$

Так как вероятности безотказной работы групп элементов близки к единице, можно было воспользоваться формулой для приближенного расчета:

$$P_c(t) = 1 - \sum_{i=1}^n [1 - P_i(t)] = 1 - \sum_{i=1}^3 [1 - 0,99] = 1 - 0,03 = 0,97.$$

Вероятность отказа основной системы

$$Q_c(t) = 1 - P_c(t) = 1 - 0,97 = 0,03.$$

Ответ: для системы без резервирования $P_c(t) = 0,729$, $Q_c(t) = 0,271$; для системы с общим резервированием $P_c(t) = 0,927$, $Q_c(t) = 0,073$; для системы с поэлементным резервированием $P_c(t) = 0,97$, $Q_c(t) = 0,03$.

Таким образом, максимальная надежность достигается при поэлементном резервировании.

Пример 2 – Определить количество равнонадежных резервных элементов с вероятностью безотказной работы $P_i(t) = 0,9$, необходимых для того, чтобы обеспечить вероятность безотказной работы системы, равную $P_c(t) = 0,99$.

Решение

Рассчитаем вероятность безотказной работы группы из двух равнонадежных резервных элементов:

$$P_{c1}(t) = 1 - (1 - P_i(t)) \cdot (1 - P_i(t)) = 1 - (1 - 0,9) \cdot (1 - 0,9) = 1 - 0,01 = 0,99.$$

В данном случае $P_c(t) = P_{c1}(t)$, что означает, что искомое количество резервных элементов $n = 1$.

Ответ: $n = 1$.

Пример 3 – Система состоит из одного элемента с вероятностью безотказной работы, равной 0,93, резервный элемент имеет вероятность безотказной работы 0,95. Определить вероятность безотказной работы системы после замещения основного элемента резервным, сделать вывод.

Решение

$P_{1-2}(t)$ – вероятность безотказной работы группы из основного и резервного элементов:

$$P_{1-2}(t) = 1 - (1 - P_1(t)) \cdot (1 - P_2(t)) = 1 - (1 - 0,93) \cdot (1 - 0,95) = 1 - 0,0035 = 0,9965;$$

$P_{2-2}(t)$ – вероятность безотказной работы группы из замещенного основного и резервного элементов;

$$P_{2-2}(t) = 1 - (1 - P_1(t)) \cdot (1 - P_2(t)) = 1 - (1 - 0,95) \cdot (1 - 0,95) = 1 - 0,0025 = 0,9975.$$

Вывод: после замещения основного элемента резервным вероятность безотказной работы увеличится, поскольку вероятность безотказной работы резервного элемента больше, чем у основного, что подтверждается проведенными расчётами.

Оформление результатов выполнения задания

- 1 Титульный лист.
- 2 Цель работы.
- 3 Задание.
- 4 Структурные схемы систем и основные формулы с пояснениями по определению показателей надежности для различных видов резервирования.
- 5 Решения предложенных заданий.
- 6 Выводы.

7 Практическое занятие № 7. Определение значения функции преобразования измерительного канала информационно-измерительной системы

Цель занятия: получение навыков преобразования экспериментальных данных в аналитическую функцию.

Задание

1 По полученным экспериментальным данным с датчика, отображающих зависимость выходного напряжения от перемещения рабочего органа робота-манипулятора, построить аналитическую функцию для дальнейшего расчёта микроконтроллером промежуточных значений.

2 Построить графики полученных аналитических зависимостей U_V относительно исходных экспериментальных данных $U_{исх}$.

3 Определить адекватность полученных аналитических зависимостей прибору.

Исходные данные:

– экспериментальные данные выходного напряжения, $y_i = U_{исх} = 7,389; 3,320; 1,492; 0,670; 0,301; 0,135; 0,061$ мВ.

– экспериментальные данные перемещения рабочего органа робота-манипулятора, $x_i = M = 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6$ мм.

Методические рекомендации по выполнению задания

1 Представим аналитическую зависимость в виде

$$U_V = (a_0 + a_1 \cdot M). \quad (7.1)$$

Оптимальной может считаться модель, у которой сумма квадратов отклонений расчетных U_{Vi} и экспериментальных $U_{исxi}$ значений будет минимальной, т. е. минимизируется функционал.

$$F(a_j) = \min \sum_{i=1}^N (U_{исxi} - U_{Vi})^2, \quad j = 0, 1. \quad (7.2)$$

Для определения коэффициентов модели a_i составляют систему уравнений типа

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F(a_j)}{\partial a_0} = 0; \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial F(a_j)}{\partial a_1} = 0. \end{array} \right. \quad (7.3)$$

Коэффициенты определяют:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N x_i y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}; \\ a_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}. \end{array} \right. \quad (7.4)$$

Значения x_i соответственно равны данным из массива M ; значения y_i соответственно равны данным из массива U_{ucx} .

2 Определить адекватность модели можно по среднеквадратичному отклонению, которое не должно превышать 10 %:

$$\sigma \% = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (U_{ucxi} - U_{Vi})^2}{N-1}}}{\overline{U_{ucx}}} 100 \%, \quad (7.5)$$

где $\overline{U_{ucx}}$ – среднее значение.

Если среднеквадратичное отклонение σ превышает 10 %, то полученная аналитическая зависимость датчика, отображающего зависимость выходного напряжения от перемещения рабочего органа робота-манипулятора адекватна реальному объекту с точностью меньше 90 %. Тогда в качестве аналитической зависимости необходимо выбрать нелинейную зависимость датчика.

3 Представим аналитическую зависимость в виде нелинейной зависимости $U_V = \exp(aM + b)$, где a, b – коэффициенты.

Общая формула, полученная из метода наименьших квадратов (7.2) для нахождения коэффициентов a и b , выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i = a \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^N x_i; \\ \sum_{i=1}^N y_i = a \cdot \sum_{i=1}^N x_i + b \cdot N. \end{array} \right. \quad (7.6)$$

Коэффициенты a и b определим следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} b = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N x_i y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}; \\ a = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}. \end{array} \right. \quad (7.7)$$

Прологарифмируем экспериментальные значения выходного напряжения, возьмём натуральный логарифм от каждого значения из массива $\ln(U_{ucx})$.

$$\ln(U_{ucx}) = [1,999; 1,199; 0,4; -0,4; -1,2; -2,002; -2,797].$$

Значения x_i соответственно равны данным из массива M ; значения y_i соответственно равны данным из массива прологарифмированных экспериментальных значений $\ln(U_{ucx})$.

В результате значения коэффициентов $a = -0,79987$ и $b = 1,99954$.

Полученные по формуле $U_V = \exp(aM + b)$ значения, представлены массивом

$$U_V = [7,386; 3,319; 1,491; 0,670; 0,301; 0,135; 0,061] \text{ мВ.}$$

Аналитическая зависимость $U_V = \exp(aM + b)$ при найденных значениях коэффициентов a и b представлена на рисунке 7.1.

Определить адекватность модели можно по среднеквадратичному отклонению (7.5):

$$\sigma \% = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (U_{ucxi} - U_{Vi})^2}{N-1}}}{\overline{U_{ucx}}} 100 \%,$$

где $\overline{U_{ucx}}$ – среднее значение.

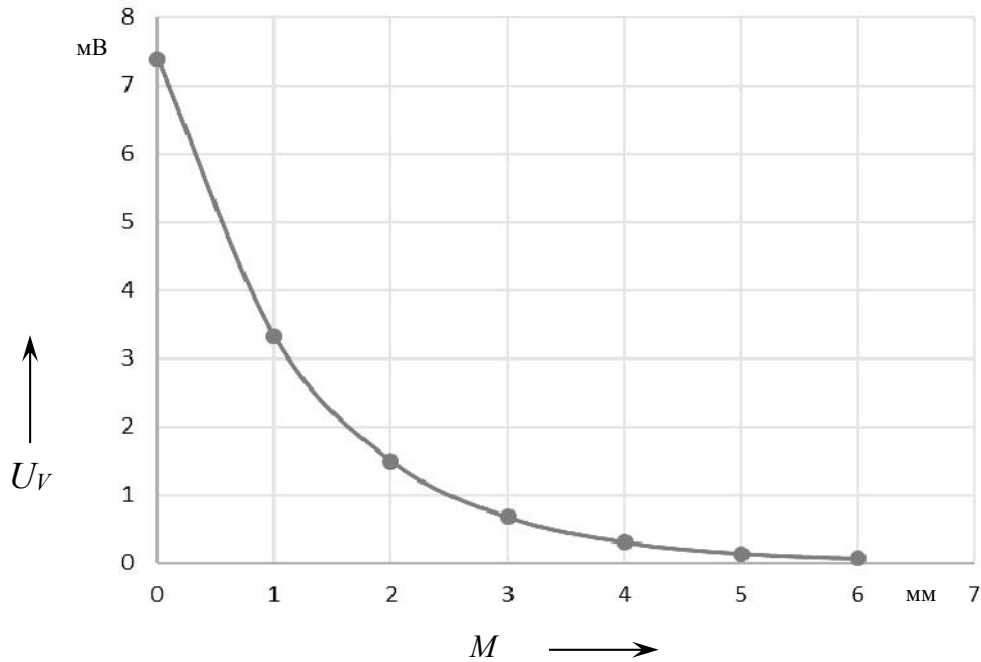


Рисунок 7.1 – График аналитической зависимости $U_V = \exp(aM + b)$

Оформление результатов выполнения задания

1 Номер и тема практического занятия.

2 Цель занятия.

3 Задание.

4 Расчетные формулы с пояснениями.

5 Таблица экспериментальных и расчетных данных для аналитической зависимости датчика $U_V = (a_0 + a_1M)$, величина среднеквадратичного отклонения σ .

6 График аналитической зависимости $U_V = (a_0 + a_1M)$ и экспериментальных данных $U_{исх}$.

7 Таблица экспериментальных и расчетных данных для аналитической зависимости датчика $U_V = \exp(aM + b)$, величина среднеквадратичного отклонения σ .

8 График аналитической зависимости $U_V = \exp(aM + b)$ и экспериментальных данных $U_{исх}$.

9 Выводы об адекватности полученных аналитических зависимостей датчика расхода.

8 Практическое занятие № 8. Определение информационной пропускной способности канала измерения

Цель занятия: получение навыков определения информационных характеристик средств сбора и преобразования измерительной информации, структуры информационно-измерительной системы (ИИС).

Задание

Определить структуру ИИС и информационные характеристики средств сбора и преобразования измерительной информации: пропускную способность коммутатора ИИС C_K ; пропускную способность АЦП $C_{АЦП}$; частоту опроса измерительных каналов f_k ; производительность источника измерительной информации $R_{И}$.

Исходные данные: N_k – число каналов; δ – относительная неопределенность восстановления сигнала; $\delta_{АЦП}$ – относительная неопределенность преобразования АЦП; $C_{Э}$ – быстродействие элементной базы – представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Исходные данные для определения информационных характеристик средств сбора и преобразования измерительной информации

Вариант	N_k	δ	$\delta_{АЦП}$	$C_{Э} \times 10^5$, опер/с
1	580	0,5	0,01	3
2	720	0,4	0,18	4
3	450	0,45	0,25	5

Методические рекомендации по выполнению задания

К информационным характеристикам средств сбора и преобразования измерительной информации относятся: пропускная способность коммутатора ИИС C_K ; пропускная способность АЦП $C_{АЦП}$; частота опроса измерительных каналов f_k .

Пропускная способность измерительного канала производится в предположении равенства относительной неопределенности восстановления и измерения сигнала (при равномерном законе распределения вероятности):

$$C_{ИК} = f_c \log_2(1 + 1/\delta^2); \quad (8.1)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi^3\sqrt{\delta^2}}, \quad (8.2)$$

где f_c – верхняя граница частотного спектра передаваемого сигнала.

Пропускная способность АЦП при обработке измерительной информации

$$C_{АЦП} = \frac{2f_c}{\delta_{АЦП}} \log_2 \left(1 + \frac{1}{\delta_{АЦП}^2} \right). \quad (8.3)$$

Пропускная способность АЦП при обработке информации многоканальной системы

$$C_{АЦПN} = C_{АЦП} \cdot N_k. \quad (8.4)$$

Частота опроса измерительных каналов коммутатора ИИС

$$f_k = 2 \cdot f_c \cdot N_k. \quad (8.5)$$

Пропускная способность коммутатора ИИС

$$C_K = N_k \cdot C_{ИК}. \quad (8.6)$$

Рассчитав по вышеприведенным формулам значение f_c , $C_{ИК}$, C_K , $C_{АЦП}$, проверить выполнение условия (8.7), что соответствует **последовательному** преобразованию сигналов.

В случае его невыполнения определить количество АЦП по уравнению (8.8), что соответствует **параллельному** преобразованию сигналов.

При последовательном преобразовании сигналов

$$C_{\mathcal{E}} > C_{ИК}; C_K; C_{АЦПN}. \quad (8.7)$$

При параллельном преобразовании сигналов

$$n_{АЦП} > C_{АЦПN} / C_{\mathcal{E}}. \quad (8.8)$$

Существует два подхода при обработке более чем одного аналогового сигнала: с использованием аналогового коммутатора всех входных сигналов, с использованием одного АЦП для выполнения преобразований; при параллельном способе сбора данных для каждого канала используется отдельный АЦП.

На рисунке 8.1 представлена структурная схема многоканальной ИИС при последовательном преобразовании сигналов.

На рисунке 8.2 представлена структурная схема многоканальной ИИС при параллельном преобразовании сигналов.

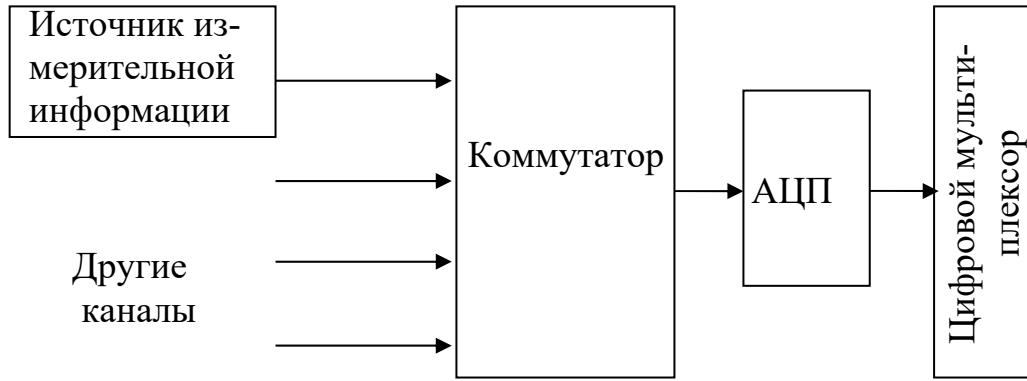


Рисунок 8.1 – Структурная схема многоканальной ИИС при последовательном преобразовании сигналов

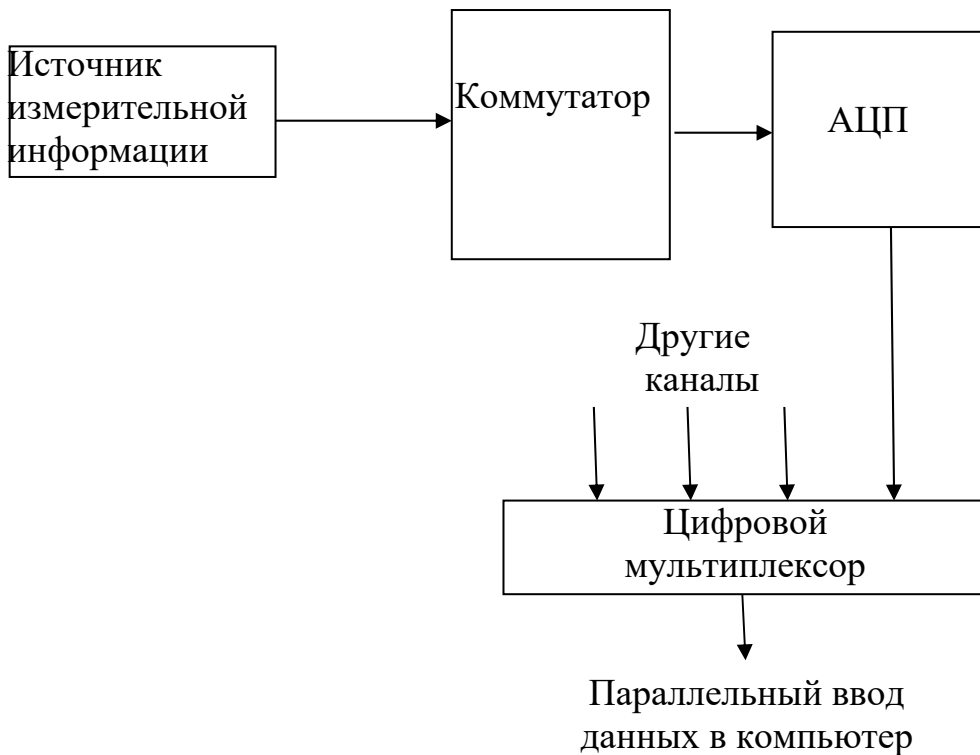


Рисунок 8.2 – Структурная схема многоканальной ИИС при параллельном преобразовании сигналов

Оформление результатов выполнения задания

- 1 Номер и тема практического занятия.
- 2 Цель занятия.
- 3 Задание.
- 4 Расчетные формулы с пояснениями.
- 5 Полученные значения – пропускная способность коммутатора ИИС S_K ; пропускная способность АЦП $S_{АЦП}$; частота опроса измерительных каналов f_k .

6 Структурная схема полученной по результатам расчетов многоканальной ИИС.

7 Выводы.

Список литературы

1 **Иванов, А. А.** Основы робототехники [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. А. Иванов. – 2-е изд., испр. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 223 с. – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/1155006>. – Дата доступа: 31.08.2022.

2 Информационные системы и цифровые технологии [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. В. Трофимов [и др.]; под общ. ред. проф. В. В. Трофимова и В. И. Кияева. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 253 с. – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/1370826>. – Дата доступа: 31.08.2022.

3 **Гвоздева, В. А.** Информатика, автоматизированные информационные технологии и системы [Электронный ресурс]: учебник / В. А. Гвоздева. – Москва: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2021. – 542 с. – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/1220288>. – Дата доступа: 31.08.2022.