ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация
промышленных установок»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА В МЕХАТРОНИКЕ

Методические рекомендации к практическим занятиям для студентов направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» дневной формы обучения

Могилев 2018

УДК 629.113:004.65
ББК 39.33:32.973
И 74

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университет

Одобрено кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» «07» февраля 2018 г., протокол № 7

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

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

Методические рекомендации к практическим занятиям предназначены для студентов направления подготовки «Мехатроника и робототехника». Изложена методика расчета и определения основных характеристих информационных устройств, применяемых в мехатронике робототехнических систем.

Учебно-методическое издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА В МЕХАТРОНИКЕ

Ответственный за выпуск Г. С. Леневский
Технический редактор А. А. Подошевко
Компьютерная верстка М. М. Дударева

Подписано в печать Формат 60х84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. Уч.-изд. л. Тираж 46 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий.
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев

Содержание

Введение………………………………………………………………..............4
1 Практическое занятие № 1. Определение доверительного интервала и доверительной вероятности измерений……..……………………………………5
2 Практическое занятие № 2. Определение необходимого числа измерений для получения требуемой точности………………………….............8
3 Практическое занятие № 3. Определение частоты опроса датчиков........10
4 Практическое занятие № 4. Расчёт вероятности безотказной работы приборов и датчиков………………………………………………..................13
5 Практическое занятие № 5. Расчет действительных значений измеряемых величин в физических единицах измерения по кодам АЦП……...17
6 Практическое занятие № 6. Экспериментальное определение значений функции преобразования измерительного канала информационно-измерительной системы.. ……………………….…..23
7 Практическое занятие № 7. Преобразование экспериментальных данных в аналитическую функцию .... ……………………….…..25
8 Практическое занятие № 8. Определение информационной пропускной способности канала измерения............ ……………………….…..27
Список литературы .... ……………………….…..31

Введение

Практические занятия по дисциплине «Информационные устройства в мехатронике» облегчают восприятие и понимание основных теоретических положений, способствуя их более глубокому усвоению.

Методические рекомендации соответствуют программе курса «Информационные устройства в мехатронике». Они служат основой для самостоятельной подготовки и проведения аудиторных практических занятий и предназначены для изучения определения доверительного интервала и доверительной вероятности измерений, определения необходимого числа опросов датчиков, определения функции преобразования измерительного канала, определения основных характеристик информационных устройств, применяемых в мехатронике робототехнических систем с последующим оформлением и анализом результатов, а также предусматривают изучение теоретического материала по учебной литературе, справочной литературе, веб-страницам сайтов Интернета.

Оформление результатов задания выполняется в соответствии с действующим положением Белорусско-Российского университета П БРУ 1.001-2012 каждым студентом индивидуально по технике инженерного эксперимента.

1 Практическое занятие № 1. Определение доверительного интервала и доверительной вероятности измерений

Цель занятия: получение навыков расчета доверительного интервала, доверительной вероятности.

Задание

1 Определить доверительную вероятность

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

если для истинного значения измеряемой величины x_i, погрешность измерения $\Delta x = \pm\, 0{,}1$, среднее арифметическое значение, полученное в результате измерений $\bar{x} =$ 0,27, средняя квадратичная погрешность единичного измерений $\sigma = S_n = 0{,}032$.

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

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

где n – число измерений.

Какова вероятность того, что результат отдельного измерения не выйдет за пределы, определяемые неравенством $1{,}26 < x_i < 1{,}28$?

2 Определить доверительный интервал Δx, чтобы примерно 98% результатов измерений попадали в него, т. е. доверительная вероятность

$$P\,(\bar{x} - \Delta x < x_i < \bar{x} + \Delta x) = 0{,}98,$$

если для истинного значения измеряемой величины x_i, среднее арифметическое значение, полученное в результате измерений $\bar{x} = 1{,}27$, средняя квадратичная погрешность измерений $\sigma = 0{,}032$.

1.1 *Указания к выполнению задания*

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

Это принято записывать в виде:

$$P(-\Delta x < x_i - \overline{x} < \overline{\Delta x}) = \alpha, \qquad (1.1)$$

или

$$P(\overline{x} - \overline{\Delta x} < x_i < \overline{x} + \overline{\Delta x}) = \alpha, \qquad (1.2)$$

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

Выражение (1.1) означает, что с вероятностью, равной α, истинное значение измеряемой величины не выходит за пределы доверительного интервала от $\overline{x} - \Delta x$ до $\overline{x} + \Delta x$. 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 доверительной вероятности*. Указание одной только величины ошибки без указания соответствующей ей доверительной вероятности в значительной мере лишено смысла, т. к. при этом не знаем, сколь надежны наши данные. Знание доверительной вероятности позволяет оценить степень надежности полученного результата. Необходимая степень его надежности опять-таки 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 доверительной вероятностью 0,9 или 0,95.

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

Удобство применения стандартной ошибки в качестве основного численного выражения погрешности наблюдений заключается в том, что этой величине соответствует вполне определенная доверительная вероятность, равная 0,68. (Здесь и дальше полагаем, что ошибки распределены по нормальному закону). Для любой величины доверительного интервала по формуле Гаусса может быть рассчитана соответствующая доверительная вероятность. Эти вычисления были проделаны, и их результаты сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Доверительные вероятности α для доверительного интервала, выраженного в долях средней квадратичной ошибки $\varepsilon = \Delta x / \sigma$

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

1.1.1 Приведем примеры пользования таблицей 1.1 для определения доверительной вероятности α.

Пусть для некоторого ряда измерений получили $\overline{x} = 1,27$, $\sigma = 0,032$. Какова вероятность того, что результат отдельного измерения не выйдет за пределы, определяемые неравенством $1,26 < x_i < 1,28$?

Доверительные границы Δx установлены в ± 0,01, что составляет (в долях σ)

$$\varepsilon = \Delta x/\sigma = 0,01/0,032 = 0,31.$$

Из таблицы 1.1 находим, что доверительная вероятность для ε = 0,3 равна 0,24.

Иначе говоря, приблизительно 1/4 измерений уложится в интервал ошибок ± 0,01.

Определим теперь, какова доверительная вероятность для границ $1,20 < x_i < 1,34$. Значение этого интервала, выраженное в долях σ, будет:

$$\varepsilon = \Delta x/\sigma = 0,07/0,032 \approx 2,2.$$

По таблице 1.1 находим значение α для ε = 2,2, оно равно 0,97. Иначе говоря, результаты приблизительно 97 % всех измерений будут укладываться в этот интервал.

1.1.2 Какой доверительный интервал нужно выбрать для тех же измерений, чтобы примерно 98 % результатов попадали в него?

Из таблицы 1.1 находим, что значению α = 0,98 соответствует значение ε = 2,4, следовательно, $\Delta x = \sigma \cdot \varepsilon = 0,032 \cdot 2,4 \approx 0,08$, и указанной доверительной вероятности соответствует интервал

$$1,27 - 0,08 < x_i < 1,27 + 0,08$$

или $1,19 < x < 1,35$;иногда этот результат записывают в виде $x_i = 1,27 \pm 0,08$ с доверительной вероятностью 0,98.

Оформление результатов выполнения задания

1.Номер и тема практического занятия.
2 Цель занятия.
3 Задание.
4 Расчетные формулы с пояснениями.
5 Таблица 1.1.
6 Полученные значения доверительной вероятности, доверительного интервала.
7 Выводы.

2 Практическое занятие № 2. Определение необходимого числа измерений для получения требуемой точности

***Цель занятия*:** получение навыков определения необходимого числа измерений для нахождения требуемой точности.

Задание

Диаметр шарика измеряется с помощью микрометра, имеющего погрешность δ = 1 мкм. Средняя квадратичная погрешность единичного измерения S_n = 2,3 мкм. Сколько измерений нужно проделать, чтобы ошибка Δx не превышала 1,5 мкм с надежностью a = 0,95?

2.1 Указания к выполнению задания

Погрешность измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Под истинным значением измеряемой величины принято считать:
– среднюю арифметическую величину ряда измерений;
– известное эталонное значение;
– величину, полученную в результате более точных (не менее чем на порядок) измерений.

Погрешности бывают случайные и систематические.

Случайная погрешность – это погрешность, которая в отдельных измерениях может принимать случайные, заранее конкретно неизвестные значения. Случайные погрешности обязаны своим происхождением ряду как объективных, так и субъективных факторов, действие которых неодинаково в каждом опыте и не может быть учтено. Случайные погрешности различаются в отдельных измерениях, сделанных в одинаковых условиях одними и теми же измерительными приборами. Исключить случайные погрешности нельзя. Можно только оценить их значение. Случайные погрешности определяются по законам теории ошибок, основанной на теории вероятностей.

Систематическая погрешность – это погрешность, вызванная факторами, действующими одинаковым образом при многократном повторении одних и тех же измерений с помощью одних и тех же измерительных приборов.

Для уменьшения случайной ошибки результата могут быть использованы два пути: улучшение точности измерений, т. е. уменьшение величины средне-квадратичного отклонения, и увеличение числа измерений, т. е. использование соотношения.

Пусть систематическая ошибка измерений, определяемая классом точности прибора или другими аналогичными обстоятельствами, будет δ.

Известно, что уменьшать случайную ошибку целесообразно только до тех пор, пока общая погрешность измерений не будет полностью определяться систематической ошибкой. Для этого необходимо, чтобы доверительный интервал, определенный с выбранной степенью надежности, был бы существенно меньше величины систематической ошибки.

Иначе говоря,

$$\Delta x \le \delta. \qquad (2.1)$$

Разумеется, нужно условиться, какая степень надежности α требуется и какую величину для случайной ошибки следует считать допустимой, т. е. какое соотношение величин Δx и δ можно считать удовлетворяющим условию (2.1).

Практически обычно можно удовлетвориться требованием $\Delta x \le \delta/3$ или даже $\Delta x \le \delta/2$.

Надежность α, с какой хотим установить доверительный интервал, в большинстве случаев не должна превышать 0,95, хотя иногда требуются и более высокие значения α. Для оценки необходимого число измерений воспользуемся таблицей 2.1, в которой Δx дано в долях средней квадратичной ошибки.

Для решения предложенного задания положим $\Delta x = \delta/2 = 0{,}5$ мкм, для $S_n = 2{,}3$ мкм найдем ε:

$$\varepsilon = \Delta x/S_n = 0{,}5/2{,}3 = 0{,}22.$$

Таблица 2.1– Необходимое число измерений для получения случайной ошибки ε с надежностью α

$\varepsilon = \Delta x/\sigma = \Delta x/Sn$	α					
	0,5	0,7	0,9	0,95	0,99	0,999
1,0	2	3	5	7	11	17
0,5	3	6	13	18	31	50
0,4	4	8	19	27	46	74
0,3	6	13	32	46	78	130
0,2	13	29	70	100	170	280
0,1	47	110	270	390	700	1100
0,05	180	430	1100	1500	2700	4300
0,01	4500	1100	27000	38000	66000	110000

Из таблицы 2.1 находим в колонке α = 0,95: для ε = 0,3 n = 46 и для ε = 0,2 n =100. Составив соответствующую пропорцию, легко рассчитать, что для $\varepsilon = \Delta x/S_n = 0{,}22$ $n \approx 57$.

Иначе говоря, нужно сделать около 60 измерений, чтобы случайная ошибка изменила общую погрешность результата измерений не более чем в 1,5 раза.

Оформление результатов выполнения задания

1 Номер и тема практического занятия.
2 Цель занятия.
3 Задание.
4 Расчетные формулы с пояснениями.
5 Таблица 2.1.
6 Определение необходимого числа измерений.
7 Выводы.

3 Практическое занятие № 3. Определение частоты опроса датчиков

***Цель занятия*:** освоение методики расчета частоты опроса технологических параметров.

Задание

Определить период опроса датчиков по кривой реализации случайного процесса.

На рисунке 3.1 представлена кривая реализации случайного процесса $X(t)$.

3.1 Указания к выполнению задания

Вопрос выбора необходимой частоты опроса датчиков возникает при создании информационно-измерительных систем на стадии разработки.

Завышенная частота опроса ведет к усложнению системы дискретного контроля и повышению загрузки вычислительной части УВМ.

Заниженная частота опроса практически может свести к нулю результаты дискретного контроля, поскольку при этом невозможно проследить с необходимой точностью за изменением контролируемой величины.

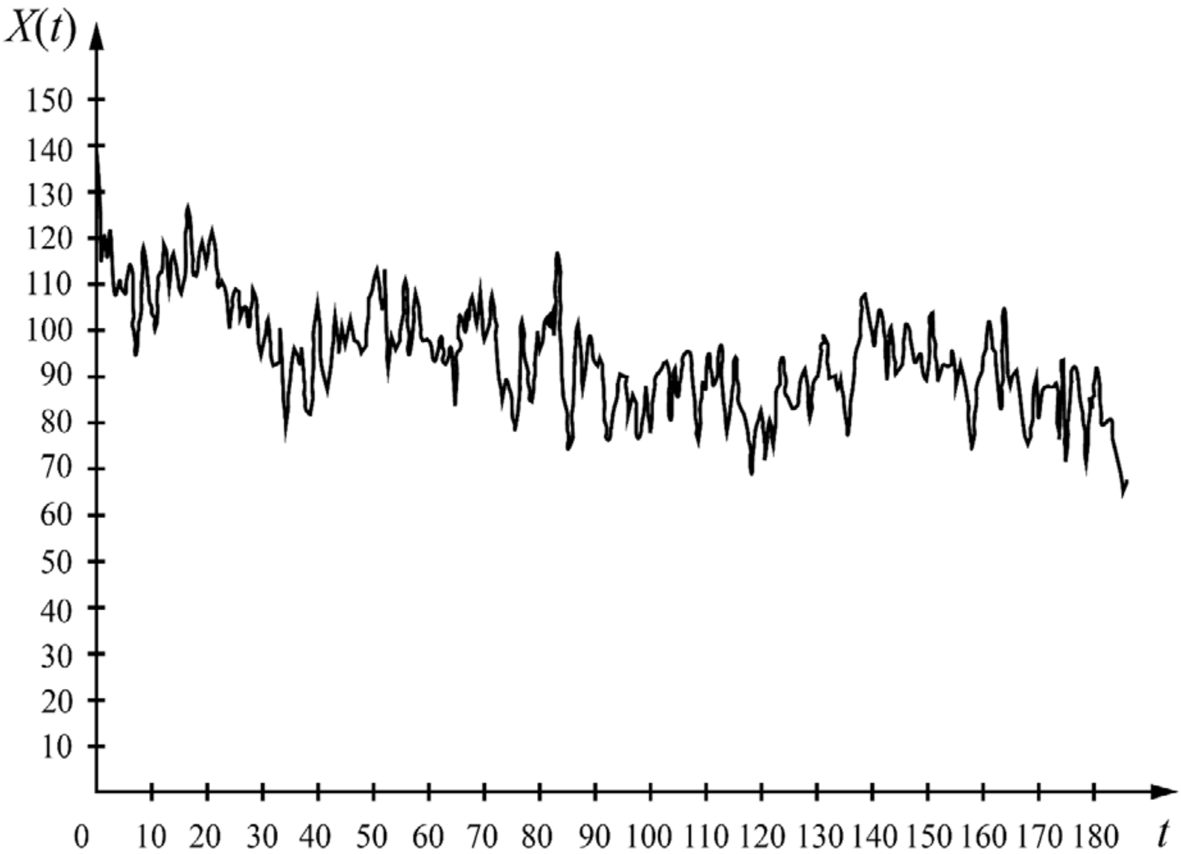


Рисунок 3.1 – Кривая реализации случайного процесса

Методика расчета частоты (периода) опроса датчиков заключается в следующем:

1 Определяем шаг дискретизации случайного процесса $\Delta\tau$ в секундах.

На графике кривой реализации случайного процесса $X(t)$ проводим линию математического ожидания M_x = const (равно среднему арифметическому из ординат процесса) (см. рисунок 3.2).

$$M_x = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} X(t_i)\,, \tag{3.1}$$

где n – число дискретных значений ординат случайного процесса, по которому определяется оценка математического ожидания M_x.

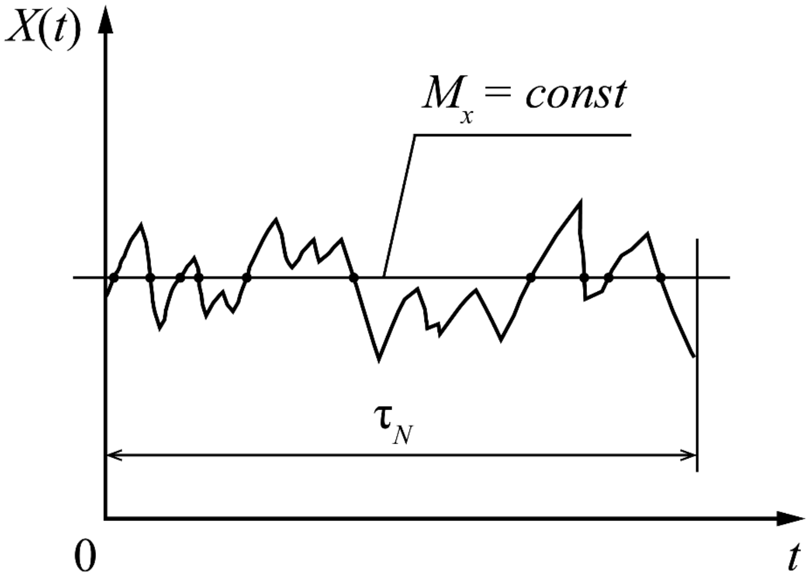


Рисунок 3.2 – График реализации случайного процесса $X(t)$

Задаемся временем τ_N и подсчитываем число N пересечений процессом линии своего математического ожидания.

Определяем среднее число нулей (пересечений случайным процессом линии своего математического ожидания) в единицу времени.

$$n_{CP} = \frac{N}{\tau_N}, \tag{3.2}$$

Определяем искомое значение шага дискретизации $\Delta\tau$. Для случайного процесса с монотонными спектральными характеристиками $\Delta\tau$ определяем по формуле:

$$\Delta\tau = 0.15/n_{cp}. \tag{3.3}$$

Оформление результатов выполнения задания

1 Номер и тема практического занятия.
2 Цель занятия.
3 Задание.
4 Кривая реализации случайного процесса.
5 Расчетные формулы с пояснениями.
6 Определение частоты (периода) опроса датчиков.
7 Выводы.

4 Практическое занятие № 4. Расчет вероятности безотказной работы приборов и датчиков

***Цель занятия*:** получение навыков расчета вероятности безотказной работы приборов и датчиков.

Задание

Определить изменение вероятности безотказной работы электронной схемы, работающей при нормальной температуре в течение времени t = 0…1000 ч. Исходные данные к расчёту приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные к расчёту

Номер группы	Наименование	Количество элементов в каждой группе m_j
1	Термисторы (термосопртивления)	3,0
2	Реле	16,5
3	Катушки индуктивности	1,0
4	Транзисторы	5
5	Микросхемы	1
6	Разъёмы	40
7	Пайка	52

4.1 Указания к выполнению задания

Анализируя схему и конструкцию любого прибора, можно выделить *n* простейших элементов, внезапный отказ любого из которых приведёт к внезапному отказу прибора в целом. Тогда условием безотказной работы прибора будет отсутствие внезапных отказов у всех без исключения элементов.

Будем считать отсутствие внезапных отказов у элементов событиями независимыми. Тогда вероятность одновременного наступления этих событий, равная произведению их вероятностей, и будет вероятностью отсутствия внезапных отказов у прибора в целом:

$$P_в(t) = P_1(t)P_2(t)...P_n(t) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t), \qquad (4.1)$$

где $P_i(t)$ – вероятность отсутствия внезапного отказа у i-того элемента.

Связь между вероятностями внезапных отказов прибора и его элементов получим, заменяя $P_в(t) = 1 - Q_в(t)$ и $P_i(t) = 1 - Q_i(t)$, откуда:

$$Q_в(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} \left[1 - Q_i(t)\right].$$

Вероятность отсутствия внезапных отказов элементов можно представить в виде:

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t} \qquad (4.2)$$

где λ_i – интенсивность отказов i-ого элемента при реальной нагрузке и в реальных условиях эксплуатации.

Для типовых элементов (сопротивлений, конденсаторов, полупроводниковых элементов, реле, потенциометров, двигателей и т. п.) данные об интенсивности отказов (так называемые λ-характеристики) приводятся в специальных справочных таблицах или графиках, составленных на основании статистических испытаний больших партий элементов.

Поскольку практически невозможно все виды элементов испытывать при всевозможных комбинациях нагрузок и окружающих условий, то в справочных таблицах для каждого типа элемента даются значения λ_{i0}, установленные для случая номинальной нагрузки и некоторых нормальных условий эксплуатации (температура окружающей среды +20°C, нормальное давление, влажность 95…98%).

В таблице 4.2 приведены значения λ_{i0}, для элементов приборов и датчиков.

Для определения коэффициента λ_i отвечающего действительным условиям эксплуатации, необходимо взятое из таблицы 4.2. значение λ_{i0} умножить на поправочный множитель a_i, называемый эксплуатационным коэффициентом и учитывающий влияние различных факторов (электрический режим работы элемента, температура окружающей среды, давление, влажность, вибрация, удары и т. п.):

$$\lambda_i = \lambda_{i0} a_i \ . \qquad (4.3)$$

Вероятность отсутствия внезапного отказа у i-того элемента

$$P_i(t) = e^{-\lambda_{i0} a_i t} \ . \qquad (4.4)$$

Таблица 4.2 – Интенсивность отказов элементов приборов и датчиков при нормальной температуре плюс 20°C и номинальной нагрузке

Элемент	λ_{i0}, 10^{-6} •ч$^{-1}$	Эксплуатационный коэффициент a_i
Конденсаторы	3,0	0,08
Переключатели	1,3	0,52
Резисторы	2,2	0,3
Диоды	5,0	0,3
Диодные сборки	5,2	0,35
Транзисторы	10,0	0,65
Микросхемы	10,2	0,55
Варистор	3,4	0,4
Катушки индуктивности	1,0	0,05
Разъёмы	0,5 на один контакт	0,06
Дроссели и трансформаторы	0,9 на одну обмотку	0,2

Продолжение таблицы 4.2

Элемент	λ_{i0}, 10^{-6} • $ч^{-1}$	Эксплуатационный коэффициент a_i
Реле	16,5	0,35
Термисторы (термсопротивления)	3,0	0,08
Предохранители	0,6	0,2
Полупроводниковые сборки	8,4	0,35
Аккумуляторные батареи	6,0	0,4
Зуммер	2,0	0,15
Пайка	0,1	0,04

Общая вероятность отсутствия внезапных отказов

$$P_в(t) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t) = e^{-\sum\limits_{i=1}^{n} \lambda_{i0} a_i t} = e^{-\Lambda t}\ , \tag{4.5}$$

где Λ – (лямбда большая) общий коэффициент интенсивности отказов прибора,

$$\Lambda = \sum_{i=1}^{n} \lambda_{i0} a_i\ , \tag{4.6}$$

Если схема прибора содержит группы однотипных элементов, работающих в одинаковом режиме, то вычисление Λ можно вести по формуле:

$$\Lambda = \sum_{j=1}^{k} m_j \lambda_{i0} a_j\ , \tag{4.7}$$

где k – число групп однотипных элементов;
m_j – число элементов в j-той группе.

Отметим, что общее число элементов в схеме $n = \sum\limits_{j=1}^{k} m_j$.

Вероятность внезапных отказов прибора будет

$$Q_в(t) = 1 - P_в(t) = 1 - e^{-\Lambda t}\ . \tag{4.8}$$

Расчеты по изложенной методике ведутся обычно в следующем порядке.

Составляется перечень электрических элементов, входящих в схему, с указанием режимов их работы. При этом элементом схемы считается любая деталь, узел или соединение, внезапный отказ которого приведет к внезапному отказу прибора. Например, одним из таких элементов считают место припайки провода.

При составлении перечня элементы разбиваются на группы однотипных элементов, работающих в одинаковом режиме. За число паек принимаем число выводов того или иного элемента. Так, у резистора и конденсатора по два вывода, у микросхемы число паек соответствует числу выводов, показанных на принципиальной электрической схеме.

Составляется таблица, в которую заносятся группы элементов, количество элементов в каждой группе m_j , численные значения параметров λ_{i0} и a_j , определенные для каждой группы по справочным данным.

Расчетные данные представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Расчёт коэффициента Λ

Номер группы	Наименование	m_j	λ_{i0}	a_j	$\lambda_{i0}\, a_j\, m_j$
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					
4					
5					
6					
k					

Далее для каждой строки определяют произведение $\lambda_{i0}\, a_j\, m_j$, и записывают его в последний столбец, после чего, суммируя все числа последнего столбца, определяют суммарную интенсивность внезапных отказов:

$$\Lambda = \sum_{j=1}^{k} \lambda_{j0} a_j m_j \,. \tag{4.9}$$

Затем окончательно определяют искомые вероятности (при $t = 0\ldots1000$ ч) по формулам:

$$P_в = e^{-\Lambda t}\,;\; Q_в = 1 - e^{-\Lambda t} \tag{4.10}$$

Строятся графики $P_в(t)$, $Q_в(t)$.

Пример расчета интенсивности отказов представлен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Расчет интенсивности отказов

Номер группы	Наименование	m_j	$\lambda_{i0} \cdot 10^{-6}$	a_j	$\lambda_{i0}\, a_j\, m_j \cdot 10^{-6}$
1	Резисторы	8	2,2	0,3	5,28
2	Конденсаторы	10	3,0	0,08	2,4
3	Диоды	4	5,0	0,3	6
4	Транзисторы	5	10	0,65	32,5
5	Микросхемы	1	10,2	0,55	5,61
6	Разъёмы	20	0,5	0,06	0,6
7	Пайка	52	0,1	0,04	0,208

Суммируя числа в последнем столбце имеем 52,598·10^{-6}.

По формуле (4.10) находим вероятность безотказной работы:

$$P_{в}(t=1000)=e^{-\Lambda t}=e^{-0{,}052598}=0{,}9487$$

Оформление результатов выполнения задания

1 Номер и тема практического занятия.
2 Цель занятия.
3 Задание.
4 Расчетные формулы с пояснениями.
5 Таблица расчета коэффициента Λ .
6 Полученные значения и графики $P_{в}$(t), $Q_{в}$(t).
7 Выводы.

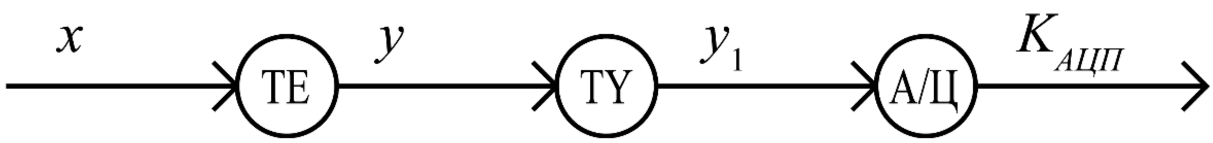
5 Практическое занятие № 5. Расчет действительных значений измеряемых величин в физических единицах измерения по кодам АЦП

***Цель занятия*:** овладение навыками расчета действительных значений измеряемых величин в физических единицах измерения по кодам АЦП.

Задание

Определить по коду АЦП $K^{\theta}_{АЦП}$ значение температуры в объекте в градусах Цельсия, измеряемое датчиком температуры (хромель-копелевая термопара).

На вход в ЭВМ по каналу измерения температуры на очередном такте опроса поступил сигнал (код АЦП), равный 768 ($K^{\theta}_{АЦП}$= 768). Измерительный канал АСУ ТП для контроля температуры представлен на рисунке 5.1.



ТЕ – хромель-копелевая термопара; ТУ – нормирующий термопреобразователь; градуировка ХК; А/Ц – 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь ($K^{\max}_{АЦП}$ = 1024)

Рисунок 5.1 – Канал измерения температуры: Диапазон изменений температуры на входе 0…100 ^{0}C . Выходной сигнал 0…10 В

5.1 Указания к выполнению задания

Сигнал измеряемой величины, поступающий от датчика в ЭВМ, преобразуется в аналого-цифровом преобразователе в число, верхнее в двоичный код, который определяет не собственно измеряемую величину, а значение выходного сигнала датчика, функционально связанного с измеряемой величиной. Для решения задач контроля и управления необходимо иметь не выходной сигнал датчика, а саму измеряемую величину, выраженную в физических единицах измерения (^{0}С, МПа, м^3/ч и др.).

Свойства конкретных датчиков и характер производимых в них преобразований определяют функциональную зависимость между измеряемой величиной x и выходным сигналом датчика y:

$$y = F(x), \tag{5.1}$$

где $F(x)$ – монотонная функция, называемая статической характеристикой датчика.

Задача заключается в определении измеряемой величины по выходному сигналу датчика y, т.е. в нахождении функции

$$x = F^{-1}(y) = f(y) \ , \tag{5.2}$$

где $f(y)$ – функция, обратная статической характеристике датчика, называемая его градуировочной характеристикой.

На практике встречаются три основных варианта градуировочных характеристик:

1 Линейные, описываемые зависимостью

$$y = a \cdot x + b, \tag{5.3}$$

откуда
$$x = \frac{y - b}{a}, \tag{5.4}$$

где a и b – постоянные коэффициенты.

Такими характеристиками обладают, например, датчики давления, уровня, pH-метры, ротаметры, многие автоматические газоанализаторы, датчики химического состава и другие измерительные преобразователи;

2 Нелинейные, описываемые известной аналитической зависимостью. Типичным примером могут служить расходомеры переменного перепада давления градуировочной характеристикой вида

$$x = a\sqrt{y} \ , \tag{5.5}$$

где a – постоянный коэффициент (если условия измерения соответствуют градуировочным);

3 Нелинейные, заданные градуировочной таблицей. К этой группе относятся, например, термопары и термометры сопротивления.

Градуировочные характеристики, заданные таблицей, чаще всего аппроксимируют аналитическим выражением, которое в дальнейшем и используется для расчета оценок измеряемой величины.

Аппроксимирующая функция обычно является многочленом степени n в виде

$$x = \sum_{K=0}^{n} a_K y^K , \tag{5.6}$$

где a_K – коэффициенты, определяемые, например, по методу наименьших квадратов, т. е. из условия

$$\sum_{i=1}^{m}\left(x_i - \sum_{K=0}^{n} a_K y_i^K \right) \to \min_{\bar{a}} . \tag{5.7}$$

Для примера в таблице 5.1 приведены полиномы 2-й степени, аппроксимирующие градуировочные таблицы для термопар и термометров сопротивления нескольких градуировок.

При расчете действительных значений измеряемых величин задача заключается в определении измеряемой величины x не по выходному сигналу y датчика, а по коду АЦП $K_{АЦП}$, связанному с y соотношением:

$$K_{АЦП} = K_M \cdot y , \tag{5.8}$$

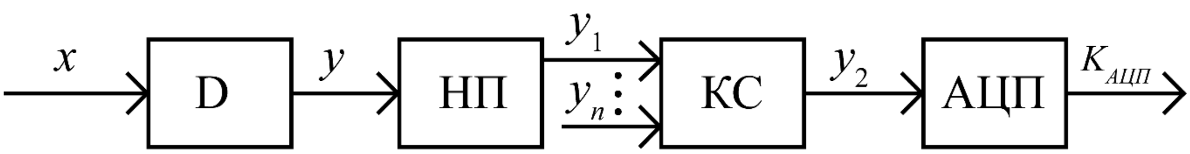
где K_M – масштабный коэффициент, численное значение которого определяется коэффициентом усиления нормирующего преобразователя НП и разрядностью АЦП (рисунок 5.2);

Таблица 5.1 – Полиномиальные зависимости x(y) для термопар и термометров сопротивления

Датчик	Полином	Диапазон аппроксимации, °C	Максимальная абсолютная ошибка аппроксимации, °C	Относительная ошибка, %
1	2	3	4	5
Термопара платинородий-платиновая	$x(y) = -1{,}47y^2 + 118y + 17{,}7$	0…1600	17,69	0,1
Термопара хромель-копелевая	$x(y) = -0{,}03y^2 + 13{,}75y + 3{,}01$	0…600	3,0	0,5
Термопара хромель-алюмелевая	$x(y) = 0{,}011y^2 + 23{,}6y + 4{,}87$	0…800	4,87	0,4

Окончание таблицы 5.1

1	2	3	4	5
Медный термометр сопротивления, гр. 50М	$x(y)=0{,}0054y^2+4{,}994y-262{,}5$	−120…150	0,319	0,06
Платиновый термометр сопротивления, гр. 50П	$x(y)=0{,}011y^2+2{,}34y-241{,}3$	−200…500	0,303	0,06



D – датчик; НП – нормирующий преобразователь; КС – коммутатор сигналов (мультиплексор); АЦП – аналогово-цифровой преобразователь

Рисунок 5.2 – Типовой измерительный канал АСУ ТП

Величина $K_м$ может быть легко определена по формуле:

$$K_м=\frac{K_{АЦП}^{\max}}{y_{\max}-y_{\min}}, \tag{5.9}$$

где $K_{АЦП}^{\max}$ – максимальное значение кода АЦП, определяемое его разрядностью (таблица 5.2);

$y_{\max}, y_{\min}$ – максимальное и минимальное значения выходного сигнала датчика соответственно

При $y_{\min}=0$ формула (5.9) приобретает следующий вид:

$$K_м=\frac{K_{АЦП}^{\max}}{y_{\max}}. \tag{5.10}$$

Таблица 5.2 – Соответствие разрядности и кодов АЦП

Код АЦП	Разрядность АЦП			
	8	10	12	15
$K_{АЦП}^{\max}=2^r-1\approx 2^r$	256	1024	4096	32788

Согласно таблице 5.1 градуировочная характеристика ХК термопары в диапазоне температур 0…600 °С аппроксимируется полиномом 2-й степени в виде:

$$x = 3{,}01 + 13{,}75 \cdot y - 0{,}03 \cdot y^2, \tag{5.11}$$

где x, θ, °С – температура в объекте; y – термоЭДС термопары.

Согласно (5.8) и (5.10), выходной сигнал датчика– термопары выразится через код АЦП следующим образом:

$$y = \frac{K^{\theta}_{АЦП}}{K_{м}} = \frac{K^{\theta}_{АЦП}}{K^{\max}_{АЦП}} \cdot y_{\max}. \tag{5.12}$$

Подставляя (5.12) в (5.11), имеем

$$\theta = 3{,}01 + 13{,}75 \frac{K_{АЦП}}{K^{\max}_{АЦП}} \cdot y_{\max} - 0.03 \left(\frac{K^{\theta}_{АЦП}}{K^{\max}_{АЦП}} \right)^2. \tag{5.13}$$

Учитывая далее, что

$$y_{\max} = \frac{y_{1\max}}{K_{НП}}, \tag{5.14}$$

получим

$$\theta = 3{,}01 + 13{,}75 \frac{y_{1\max}}{K^{\max}_{АЦП} \cdot K_{НП}} \cdot K^{\theta}_{АЦП} - 0{,}03 \left(\frac{y_{1\max}}{K^{\max}_{АЦП} K_{НП}} \right)^2 \cdot \left(K^{\theta}_{АЦП} \right)^2 \quad .(5.15)$$

В выражениях (5.14) и (5.15) $y_{\max}$ – максимальное значение выходного сигнала нормирующего преобразователя; $K_{НП}$ – коэффициент усиления нормирующего преобразователя. $K_{НП}$

Для заданных условий $K^{\max}_{АЦП}$, $K_{НП}$ и $y_{1\max}$ – постоянные величины. Следовательно, температура θ будет определяться только текущим кодом АЦП по температурному каналу – $K^{\theta}_{АЦП}$. На каждом такте опроса в ЭВМ будет поступать текущий код $K^{\theta}_{АЦП}$, по которому она, используя формулу (5.15), и определит текущее значение θ в градусах Цельсия.

Согласно заданию, $K^{\max}_{АЦП} = 1024$; $y_{1\max} = 10\ B$;

$$K_{НП} = \frac{y_{1\max}}{y_{\max}},$$

где $y_{\max}$ – максимальное значение выходного сигнала термопары (ТЭДС) при температуре 100 °С (значение температуры 100 ^{0}С тоже по заданию).

По градуировочной таблице (НСХ – стандартной номинальной статической характеристике НСХ при температуре свободного конца 0 °С) для хромель-копелевой термопары для температуры рабочего конца 100 °С имеем термоЭДС

$$y_{\max} = 6{,}84 \text{ мВ}.$$

Следовательно,

$$K_{НП} = \frac{10}{6{,}84} = 1{,}46.$$

Подставляя значения $K_{АЦП}^{\max}$, $y_{1\max}$, $K_{НП}$ и $K_{АЦП}^{\theta}$ в формулу (5.15), получим

$$\theta = 3{,}01 + 13{,}75\frac{10}{1024 \cdot 1{,}46} \cdot 768 - 0{,}03\left(\frac{10}{1024 \cdot 1{,}46} \cdot 768\right)^2 = 72{,}8\ {}^0C.$$

Оформление результатов выполнения задания

1.Номер и тема практического занятия.
2 Цель занятия.
3 Задание.
4 Расчетные формулы с пояснениями.
5 Таблицы 5.1. и 5.2.
6 Полученные значение температуры по коду АЦП.
7 Выводы.

6 Практическое занятие № 6. Экспериментальное определение значений функции преобразования измерительного канала информационно-измерительной системы

Цель занятия: получение навыков определения функция преобразования измерительного канала.

Задание

Определить значения функции преобразования измерительного канала (ИК) информационно-измерительной системы (ИИС) мехатроники на основании результатов эксперимента, представленных в таблице 6.1.

Измерение метрологических характеристик (МХ) ИК ИИС состоит в проведении многократного измерения выходного сигнала в разных точках диапазона в условиях, максимально приближенных к реальным рабочим условиям эксплуатации ИИС.

На вход ИК подают последовательность значений сигнала в пяти контрольных точках шкалы X_j от минимального значения до максимального и регистрируют значения выходных сигналов.

В протоколах измерений приведены данные шести значений результата многократного измерения y_{ij} и допустимое отклонение функции преобразования $\Delta_{доп}$ ИК от номинального значения функции преобразования в каждой из точек.

Таблица 6.1 – протокол исследований метрологических характеристик измерительных каналов микропроцессорного контроллера

Данные в контрольных точках			Результаты измерений в контрольных точках y_{ij}					
j	X_j	$\Delta_{доп}$	1	2	3	4	5	6
1	0	0,01	0,00	0,03	0,02	0,02	0,00	0,01
2	20	0,01	20,00	19,97	19,96	19,98	20,00	19,99
3	40	0,02	39,99	39,96	39,97	40,00	40,02	39,99
4	60	0,02	60,02	60,05	60,01	60,00	60,01	60,00
5	80	0,03	80,00	79,99	79,98	79,97	79,98	79,96

6.1 Указания к выполнению задания

6.1.1 В каждой контрольной точке шкалы определяются средние арифметические значения результата измерений по формуле

$$\overline{y_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_{ji}}{n}, \tag{6.1}$$

где y_{ji} – результат измерения в j-ой контрольной точке;

n – число отсчетов в *j*- ой контрольной точке.

6.1.2 В каждой контрольной точке вычисляется стандартное отклонение (мера неопределенности, оцениваемая по типу А):

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_{ji} - \overline{y_j})}{n(n-1)}}\,. \tag{6.2}$$

6.1.3 В каждой контрольной точке вычисляется мера неопределенности поправки к показаниям ИК, вычисляемая по типу В. При этом в качестве математической модели неопределенной ситуации принимается равномерный закон распределения вероятности

$$u_{\Theta j} = \frac{\Delta_{доп}}{\sqrt{3}}\,. \tag{6.3}$$

6.1.4 В каждой контрольной точке вычисляется мера неопределенности измеряемой величины:

$$u_j = k\sqrt{S_J^2 + u_{\Theta j}^2}\,. \tag{6.4}$$

Принимаем коэффициент охвата $k = 2$.

6.1.5 По результатам расчетов строятся дискретные значения функции преобразования с учетом полученных значений $y_j = f(x_j)$. Мера неопределенности входного параметра считается пренебрежимо малой.

$$y_j = x_j \pm u_j\,. \tag{6.5}$$

6.1.6 Результаты измерений и расчетов следует занести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Сводная таблица результатов измерений и расчетов

Данные в контрольных точках			Результаты измерений в контрольных точках y_{ij}						Результаты расчетов		
j	X_j	$\Delta доп$	1	2	3	4	5	6	S_j -	u_{0j} !	u_j
1											
2											
3											
4											
5											

Оформление результатов выполнения задания

1 Номер и тема практического занятия.

2 Цель занятия.

3 Задание.

4 Протокол исследований метрологических характеристик измерительных каналов микропроцессорного контроллера.

6 Расчетные формулы с пояснениями.Сводная таблица результатов измерений и расчетов.

7 График дискретных значений функции преобразования с учетом полученных значений $y_j=f(x_j)$.

8 Выводы.

7 Практическое занятие № 7. Преобразование экспериментальных данных в аналитическую функцию

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

Задание

1 По полученным экспериментальным данным с датчика выдающего выходное напряжение в зависимости от массового расхода воздуха, построить аналитическую функцию для дальнейшего расчёта микроконтроллером промежуточных значений.

2 Определить относительные погрешности расхождения экспериментальных данных выходного напряжения от аналитических.

Исходные данные:

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

– экспериментальные данные расхода воздуха М ∊ [0; 1; 2; 3; 4; 5; 6] г/сек.

7.1Указания к выполнению задания

Аналитическая зависимость должна иметь вид

$$U_{вых} = \exp\cdot(a \cdot M + b) ,$$

где a и b – коэффициенты.

Общая формула метода наименьших квадратов формула (7.1).

Найдём коэффициенты a и b из системы уравнений. Здесь значения x_i соответственно равны данным из массива М; значения y_i соответственно равны данным из массива $U_{исх}$.

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{N} x_i \cdot y_i = a \cdot \sum_{i=1}^{N} x_i^{\ 2} + b \cdot \sum_{i=1}^{N} x_i \\ \sum_{i=1}^{N} y_i = a \cdot \sum_{i=1}^{N} x_i + b \cdot N \end{cases} \qquad (7.1)$$

В результате решения системы уравнений получаем значения искомых коэффициентов: $a = -0{,}788$ и $b = 1{,}946$.

Аналитическая зависимость $U_{вых} = \exp \cdot (a \cdot M + b)$ при найденных значениях коэффициентов a и b представлена на рисунке 7.1.

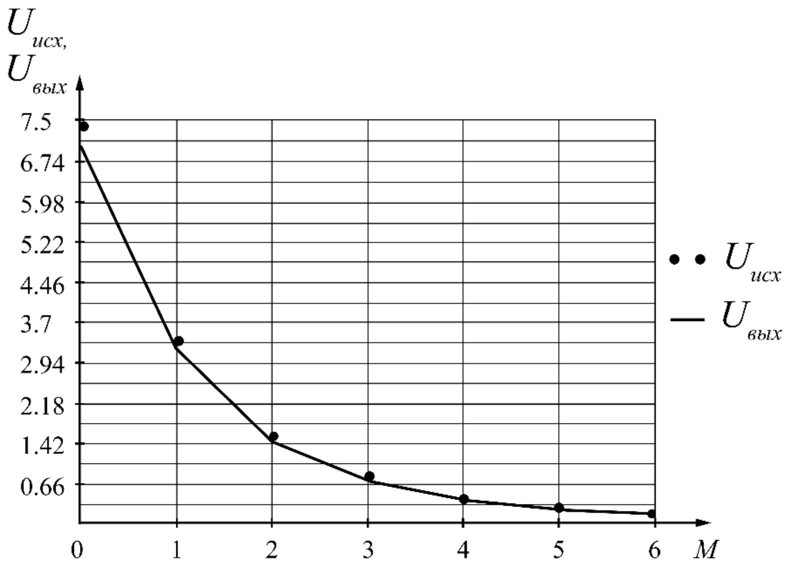


Рисунок 7.1 – График аналитической зависимости $U_{вых} = \exp \cdot (a \cdot M + b)$ и экспериментальных данных $U_{исх}$.

Найдём относительную погрешность расхождения экспериментальных данных выходного напряжения от аналитических. Отметим, что в качестве экспериментальных данных при расчёте погрешностей используем массив $U_{исх}$.

В качестве аналитических данных используем массив значений U_V ϵ [7,000; 3,184; 1,448; 0,658; 0,299; 0,136; 0,061]. В качестве истинных значений принимаем аналитические данные.

Итак, имеем $U_{исх}$ ϵ [7,389; 3,320; 1,492; 0,670; 0,301; 0,135; 0,061] мВ

Относительную погрешность определяем по формуле (7.2).

$$\delta_i = \frac{|U_{выхi} - U_{исхi}|}{U_{выхi}}, \qquad (7.2)$$

Полученные значения относительной погрешности

$$\delta = \left[0{,}056; 0{,}043; 0{,}018; 6{,}689 \cdot 10^{-3}; 7{,}353 \cdot 10^{-3}; 0\right].$$

Оформление результатов выполнения задания

1 Номер и тема практического занятия.
2 Цель занятия.
3 Задание.
4 Расчетные формулы с пояснения.
5 График аналитической зависимости $U_{вых} = \exp \cdot (a \cdot M + b)$ и экспериментальных данных $U_{исх}$.
6 Относительная погрешность.
7 Выводы.

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

***Цель занятия*:** получение навыков определения информационных характеристик средств сбора и преобразования измерительной информации, структуры ИИС.

Задание

Определить структуру ИИС и информационные характеристики средств сбора и преобразования измерительной информации: пропускную способность коммутатора ИИС Ск ; пропускную способность АЦП $C_{АЦП}$; частоту опроса измерительных каналов ($f_к$); производительность источника измерительной информации $R_И$.

Исходные данные: Nk – число каналов; δ – относительная неопределенность восстановления сигнала; $δ_{АЦП}$ – 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	Nк	δ,%	$δ_{АЦП}$,%	$C_Э \times 10^5$,опер/с
1	580	0,5	0,1	6
2	720	0,4	0,18	5
3	450	0,45	0,25	4

8.1Указания к выполнению задания

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

Пропускная способность измерительного канала производится в

предположении равенства относительной неопределенности восстановления и измерения сигнала (при равномерном законе распределения вероятности):

$$C_{ИК} = f_C \log_2(1 + 1/\delta^2), \tag{8.1}$$

$$f_C = \frac{1}{2\pi\sqrt[3]{\delta^2}}, \tag{8.2}$$

где f_C – верхняя граница частотного спектра передаваемого сигнала.

Пропускная способность АЦП при обработке измерительной информации

$$C_{АЦП} = \frac{2f_C}{\delta_{АЦП}} \log_2(1 + \frac{1}{\delta^2_{АЦП}}). \tag{8.3}$$

Пропускная способность АЦП при обработке информации многоканальной системы

$$C_{АЦПN} = C_{АЦП} \cdot N_k. \tag{8.4}$$

Частота опроса измерительных каналов коммутатора ИИС

$$f_k = 2 \cdot f_C \cdot N_k. \tag{8.5}$$

Пропускная способность коммутатора ИИС

$$C_K = N_k \cdot C_{ИК}. \tag{8.6}$$

При последовательном преобразовании сигналов

$$C_Э > C_{ИК}; C_K; C_{АЦПN}. \tag{8.7}$$

При параллельном преобразовании сигналов

$$n_{АЦП} > C_{АЦПN} / C_Э. \tag{8.8}$$

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

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

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

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

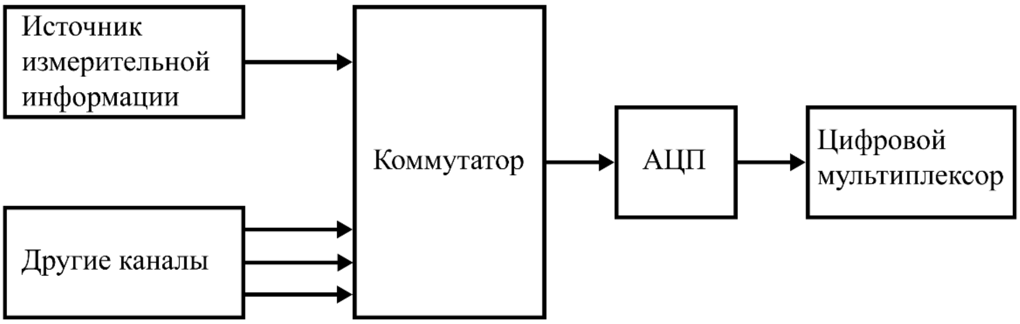


Рисунок 8.1 – Структурная схема многоканальной ИИС при последовательном преобразовании сигналов.

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

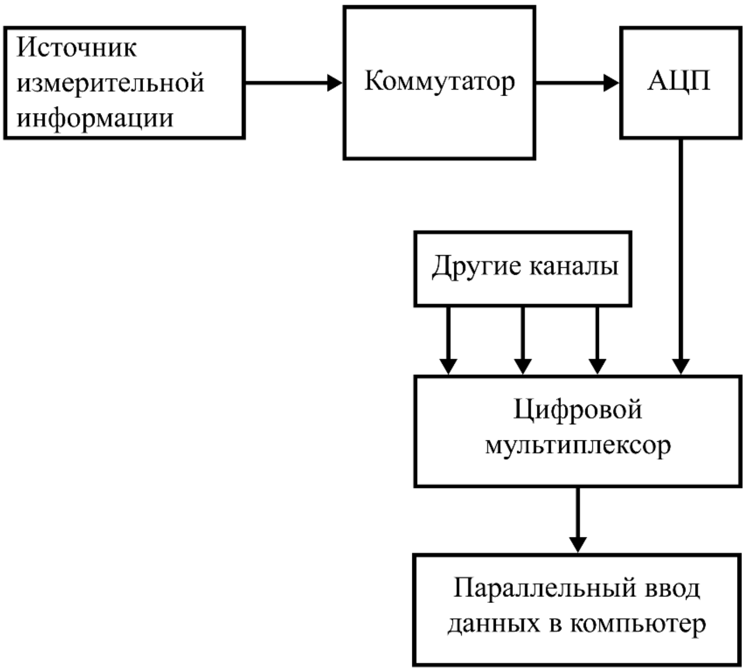


Рисунок 8.2 – Структурная схема многоканальной ИИС при параллельном преобразовании сигналов.

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 Ск; пропускная способность АЦП $С_{АЦП}$; частота опроса измерительных каналов $f_к$.
6 Структурная схема полученной по результатам расчетов многоканальной ИИС.
7 Выводы.

Список литературы

1 **Лукинов, А. П.** Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учебном пособие / А. П. Лукинов. – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 608 с.

2 **Никитин, Ю.Р.** Диагностирование мехатронных систем: учебное пособие/ Ю.Р. Никитин, И.В. Абрамов – Саратов: Вузовское образование, 2013. – 116 с.

3 **Новиков, В. А.** Информационные системы и сети: учебное пособие / В. А. Новиков, А. В. Новиков, В. В. Матвеенко. – Минск: Издательство Гревцова, 2014. – 448с.