

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

**МЕТРОЛОГИЯ
(В ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ)**

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
6-05-0611-01 «Информационные системы и технологии»

Витебск
2025

Составители:

В. В. Мурычева, В. В. Леонов, А. А. Кузнецов

Одобрено кафедрой «Автоматизация производственных процессов»
УО «ВГТУ», протокол № 10 от 17.04.2025.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 8 от 23.04.2025.

Метрология (в информационных технологиях) : методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. В. В. Мурычева, В. В. Леонов, А. А. Кузнецов – Витебск : УО «ВГТУ», 2025. – 56 с.

В методических указаниях содержится материал для выполнения лабораторных работ по дисциплине в соответствии с учебной программой. Методические указания предназначены для анализа технических и метрологических характеристик средств измерений, правильного выбора методов измерения и измерительной аппаратуры. Позволяют методически правильно выполнять измерения, минимизировать систематические погрешности, оценивать точность и оформлять результаты измерений в соответствии с действующими ТНПА, интерпретировать полученные результаты измерений с точки зрения обеспечения единства измерений и достоверности полученных результатов, грамотно эксплуатировать современную отечественную электроизмерительную аппаратуру, используемую в процессах разработки, производства и эксплуатации систем автоматики, эффективно пользоваться стандартами всех категорий и видов, обоснованно применять основные методы стандартизации.

УДК 006.91:004

© УО «ВГТУ», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1 Выявление систематических погрешностей результатов измерений на электромагнитном измерительном приборе	4
Лабораторная работа 2 Выявление грубых погрешностей результатов измерений на электромагнитном измерительном приборе	8
Лабораторная работа 3 Определение метрологических характеристик электроизмерительных приборов (емкостного и индуктивного бесконтактного выключателей)	13
Лабораторная работа 4 Измерение мощности в цепях переменного тока	19
Лабораторная работа 5 Измерение параметров импульсов сигнала с использованием цифрового осциллографа	25
Лабораторная работа 6 Исследование датчика давления	31
Лабораторная работа 7 Аналоговое измерение температуры и преобразование результатов измерения в цифровой сигнал	36
Лабораторная работа 8 Исследование регистратора температуры	40
Лабораторная работа 9 Исследование бесконтактного термометра	45
Лабораторная работа 10 Исследование датчика расхода	50
Список используемых источников	55

Лабораторная работа 1.

Выявление систематических погрешностей результатов измерений на электромагнитном измерительном приборе

Цель работы: изучить методы выявления систематических погрешностей в измерениях с использованием электромагнитного измерительного прибора (например, амперметра или вольтметра) и оценить их влияние на точность измерений.

Теоретические сведения

Систематические погрешности – такие погрешности, которые соответствуют отклонению измеряемой величины от ее истинного значения всегда в одну сторону – либо в сторону завышения, либо в сторону занижения [1].

Систематические погрешности могут возникать по следующим причинам:

- несоответствие прибора эталону (например, пластмассовые линейки с течением времени обычно укорачиваются на несколько миллиметров);
- неправильное использование прибора (например, перед взвешиванием не установлено равновесие ненагруженных весов).

Специальные статистические способы обнаружения систематических погрешностей:

1. Способ последовательных разностей (критерий Аббе) применяется для обнаружения изменяющейся во времени систематической погрешности и состоит в следующем.

Отношение

$$v = \frac{Q^2(x)}{S^2(x)}, \quad (1.1)$$

является критерием для обнаружения систематических погрешностей, где

$$S^2(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (1.2)$$

$$Q^2(x) = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i-1})^2 \quad (1.3)$$

Это две оценки дисперсии (среднего квадратического отклонения) результатов наблюдений: обычным способом и вычислением суммы квадратов последовательных (в порядке проведения измерений) разностей $(x_i - x_{i-1})$. Отсюда и название метода.

Критическая область для критерия Аббе определяется как:

$$P(v < v_q) = q, \quad (1.4)$$

где $q = 1 - P$ – уровень значимости; P – доверительная вероятность.

Значения v_q для различных уровней значимости q и числа наблюдений n приведены на рисунке 1.1.

n	0,10	0,05	0,01
4	0,352	0,381	0,417
5	0,317	0,337	0,405
6	0,294	0,319	0,364
7	0,276	0,300	0,348
8	0,261	0,285	0,331
9	0,249	0,271	0,311
10	0,239	0,258	0,294
11	0,230	0,249	0,284
12	0,223	0,242	0,275
13	0,214	0,234	0,268
14	0,207	0,227	0,261
15	0,201	0,220	0,257
16	0,195	0,213	0,250
17	0,189	0,206	0,245
18	0,184	0,200	0,239
19	0,179	0,195	0,235
20	0,174	0,190	0,231
25	0,165	0,180	0,203
30	0,144	0,161	0,187
$n > 30$	$\frac{0,805}{\sqrt{n}}$	$\frac{0,886}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,031}{\sqrt{n}}$

Рисунок 1.1 – Значения критерия Аббе v_q

Если полученное значение критерия Аббе меньше v_q , то обнаруживается систематическая погрешность результатов измерений.

2. Дисперсионный анализ (критерий Фишера) позволяет выяснить наличие систематической погрешности результатов наблюдений, обусловленной влиянием какого-либо постоянно действующего фактора, или определить, вызывают ли изменения этого фактора систематическую погрешность.

В данном случае проводят многократные измерения, состоящие из достаточного числа серий, каждая из которых соответствует различным значениям влияющего фактора. Влияющими факторами, по которым производится объединение результатов наблюдений по сериям, могут быть внешние условия (температура, давление), временная последовательность проведения измерений и т.п.

После проведения N измерений их разбивают на s серий ($s > 3$) по n_j результатов наблюдений в каждой серии и затем устанавливают, имеется ли отсутствует систематическое расхождение между результатами наблюдений в различных сериях.

Критерием оценки наличия систематических погрешностей в данном случае является дисперсионный критерий Фишера:

$$F = \frac{S_{\text{межс.}}^2}{S_{\text{вн.с.}}^2}, \quad (1.5)$$

где $S_{\text{межс.}}^2$ – межсерийная дисперсия, выражает силу действия фактора, вызывающего систематические различия между сериями; $S_{\text{вн.с.}}^2$ – внутрисерийная дисперсия, характеризует случайные погрешности измерений, обуславливающие различия (отклонения результатов наблюдений) внутри серии.

Критическая область для критерия Фишера соответствует $P(F > Fq) = q$.

Значения Fq для различных уровней значимости q , числа измерений N и числа серий s приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Значения критерия Фишера

k_2	Fq при k_1 , равном							
	1	2	3	4	5	6	8	12
2	98,49	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,42
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,80	14,37
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,10	7,72
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,03	5,67
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,06	4,71
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,50	4,16
14	8,86	6,51	5,56	5,03	4,69	4,46	4,14	3,80
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	3,89	3,55
18	8,28	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,71	3,37
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,56	3,23
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,17	2,84

Для определения Fq необходимо вычислить $k_2 = N - s$ и $k_1 = s - 1$. Причем, k_2 – это число степеней свободы большей дисперсии, k_1 – число степеней свободы меньшей дисперсии.

Если полученное значение критерия Фишера больше Fq , то гипотеза об отсутствии систематических смещений результатов наблюдений по сериям отвергается, т.е. обнаруживается систематическая погрешность, вызываемая тем фактором, по которому группировались результаты наблюдений.

Дисперсионный анализ (критерий Фишера) является наиболее эффективным и достоверным, так как позволяет не только установить факт наличия погрешности, но и дает возможность проанализировать источники ее возникновения.

Ход работы:

1. Подключите электромагнитный измерительный прибор к источнику тока и резистору. Убедитесь, что прибор откалиброван и готов к работе.

2. Измерьте значение тока (или напряжения) при различных значениях сопротивления. Запишите результаты. Проведите не менее 15 измерений для каждого значения сопротивления.

3. Для каждого измеренного значения проверьте его с помощью мультиметра. Запишите результаты.

4. Сравните результаты, полученные с помощью электромагнитного измерительного прибора и мультиметра. Вычислите среднее значение и стан-

дартное отклонение для каждого набора измерений. Определите, превышает ли разность между средними значениями допустимое значение (например, 5 % от среднего значения).

5. Для выявления систематической погрешности используйте критерий Аббе или критерий Фишера.

6. Проанализируйте возможные источники систематических погрешностей, такие как:

- неправильная калибровка прибора;
- влияние температуры на измерения;
- погрешности в сопротивлениях резисторов.

7. Сделайте выводы о влиянии систематических погрешностей на результаты измерений. Предложите способы минимизации этих погрешностей в будущем.

Оформление и содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Описание используемого оборудования.
3. Методика проведения эксперимента.
4. Полученные результаты (таблицы, графики).
5. Выводы о систематических погрешностях и их влиянии на точность измерений.

Контрольные вопросы:

1. Какие погрешности называют систематическими?
2. Какие критерии применяются для выявления систематических погрешностей?
3. Какой критерий для выявления систематических погрешностей точнее и почему?
4. Укажите критическую область для критерия Аббе.
5. Укажите критическую область для критерия Фишера.

Лабораторная работа 2.

Выявление грубых погрешностей результатов измерений на электромагнитном измерительном приборе

Цели работы:

1. Изучить методы выявления грубых погрешностей в измерениях.
2. Научиться анализировать результаты измерений с использованием электромагнитного измерительного прибора.
3. Овладеть навыками статистической обработки данных.

Теоретические сведения

Промахи (грубая погрешность) – грубые погрешности, связанные с ошибками оператора или неучтенными внешними воздействиями. Их обычно исключают из результатов измерений. Промахи, как правило, вызываются невнимательностью. Они могут возникать также вследствие неисправности прибора [1].

Источником грубых погрешностей нередко бывают резкие изменения условий измерения и ошибки, допущенные оператором:

- неправильный отсчет по шкале измерительного прибора, происходящий из-за неверного учета цены малых делений шкалы;
- неправильная запись результата наблюдений, значений отдельных мер использованного набора, например, гирь;
- хаотические изменения параметров напряжения, питающего средства измерения, например, его амплитуды или частоты.

Методы обнаружения и исключения грубых погрешностей:

Проверяемая гипотеза состоит в утверждении, что результат наблюдения x_i не содержит грубой погрешности, т.е. является одним из значений измеряемой величины. Пользуясь определенными статистическими критериями, пытаются опровергнуть выдвинутую гипотезу. Если это удастся, то результат наблюдений рассматривают как содержащий грубую погрешность и его исключают.

Для выявления грубых погрешностей задаются вероятностью p (уровнем значимости) того, что сомнительный результат действительно мог иметь место в данной совокупности результатов измерений. Обычно проверяют наибольшее и наименьшее значения результатов измерений. Для проверки гипотез используются следующие критерии:

1. Критерий «трех сигм» применяется для результатов измерений, распределенных по нормальному закону. Данный критерий надежен при числе измерений $n > 20 \dots 50$.

Правило трех сигм заключается в том, что практически все результаты, составляющие нормально распределенную выборку, находятся в пределах $\bar{x} \pm 3\sigma$.

Следовательно, по этому критерию считается, что результат маловероятен и его можно считать промахом, если:

$$|\bar{x} - x_i| > 3S(\sigma) \quad (2.1)$$

где \bar{x} – среднее арифметическое отдельных результатов измерений:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.2)$$

где n – число измерений; x_i – результат i -го измерения; S – среднее квадратичное отклонение (СКО):

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.3)$$

Величины \bar{x} и S вычисляют без учета экстремальных (вызывающих подозрение) значений x_i .

Выявляют сомнительное значение измеряемой величины. Сомнительным значением может быть лишь наибольшее либо наименьшее значение наблюдения измеряемой величины.

Вычисляют среднее арифметическое значение выборки без учета сомнительного значения измеряемой величины:

$$\bar{x} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} x_i \quad (2.4)$$

Вычисляют разность среднеарифметического и сомнительного значения измеряемой величины и сравнивают с СКО.

Если $|x_{\text{сомн}} - \bar{x}| \geq 3S$, то сомнительное значение отбрасывают, как промах.

Если $|x_{\text{сомн}} - \bar{x}| \leq 3S$, то сомнительное значение оставляют как равноправное в ряду наблюдений.

2. Критерий Романовского применяется, если число измерений $n < 20$.

При этом вычисляется отношение:

$$\frac{|\bar{x} - x_i|}{s} = \beta \quad (2.5)$$

и сравнивается с критерием β_T , выбранным по таблице.

Величины \bar{x} и S вычисляют без учета экстремальных (вызывающих подозрение) значений x_i .

Если $\beta > \beta_T$, то результат x_i считается промахом и отбрасывается.

Таблица 2.1 – Значения критерия Романовского

q	n = 4	n = 6	n = 8	n = 10	n = 12	n = 15	n = 20
0,01	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,02	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,05	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,10	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

3. Критерий Шарлье – используется, если число наблюдений в ряду велико ($n > 20$). Тогда по теореме Бернулли число результатов, превышающих по абсолютному значению среднее арифметическое значение на величину $KIIIx$, будет $n[1-\Phi(KIII)]$, где $\Phi(KIII)$ – значение нормированной функции Лапласа для $X = KIII$. Если сомнительным в ряду результатов наблюдений является один результат, то $n[1-\Phi(KIII)] = 1$. Отсюда $\Phi(KIII) = (n - 1)/n$.

Таблица 2.2 – Значения критерия Шарлье

n	5	10	20	30	40	50	100
KIII	1,3	1,65	1,96	2,13	2,24	2,32	2,58

Пользуясь критерием Шарлье, отбрасывают результат, для значения которого в ряду из n наблюдений выполняется неравенство $|x_i - \bar{x}| > KIII$.

4. Критерий Диксона является достаточно универсальным в смысле числа наблюдений и применяется для выборки с небольшим количеством наблюдений. Практические вычисления проводят следующим образом:

1. Задаются критерием значимости p .
2. Ряд наблюдений записывают в вариационный ряд (например, возрастающий):

$$x_1, x_2, \dots, x_n (x_1 < x_2 < \dots < x_n).$$

Сомнительным значением в данном случае должно быть значение с наибольшим порядковым номером, т.е. x_n .

3. Вычисляют критерий Диксона, который будет всегда положительным числом:

$$K_D = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} \quad (2.6)$$

4. Из таблицы находят критическое значение критерия Диксона Zq (критическая область для критерия Диксона $P(KD > Zq) = p$).

Если $KD < Zq$, сомнительное значение x_n отбрасывают как промах.

Если $KD > Zq$ сомнительное значение x_n оставляют как равноправное в ряду наблюдений.

Таблица 2.3 – Значения критерия Диксона

n	Z _q при p, равном			
	0,10	0,05	0,02	0,01
4	0,68	0,76	0,85	0,89
6	0,48	0,56	0,64	0,70
8	0,40	0,47	0,54	0,59
10	0,35	0,41	0,48	0,53
14	0,29	0,35	0,41	0,45
16	0,28	0,33	0,39	0,43
18	0,26	0,31	0,37	0,41
20	0,26	0,30	0,36	0,39
30	0,22	0,26	0,31	0,34

Ход работы:

1. Изучите устройство и принцип работы электромагнитного измерительного прибора.

2. Ознакомьтесь с основными источниками погрешностей в измерениях, включая грубые погрешности, которые могут возникать из-за ошибок в настройке прибора, неправильного подключения, механических повреждений и т.д.

3. Убедитесь, что оборудование обесточено. Соберите и проверьте схему эксперимента. Подключите измерительный прибор к источнику тока и выполните несколько измерений (например, напряжения или тока) в одной и той же точке. Запишите результаты измерений в таблицу. Выполните не менее 20 измерений для повышения достоверности результатов.

4. Проанализируйте полученные данные на наличие грубых погрешностей. Для этого используйте критерий «Трех сигм»: рассчитайте среднее значение и стандартное отклонение полученных данных; определите границы, за пределами которых значения считаются грубыми погрешностями; выделите значения, которые выходят за эти границы, эти значения можно считать грубыми погрешностями.

5. Исключите грубые погрешности из общего массива данных и пересчитайте среднее значение и стандартное отклонение для оставшихся данных.

6. Постройте график распределения измеренных значений и выделите на нем грубые погрешности. Обсудите возможные источники грубых погрешностей и их влияние на результаты измерений.

7. Подведите итоги работы, отметьте, какие погрешности были выявлены и как они могут повлиять на результаты измерений. Сделайте выводы о точности и надежности используемого измерительного прибора.

Оформление и содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.

2. Описание используемого оборудования.

3. Методика проведения эксперимента.
4. Полученные результаты (таблицы, графики).
5. Выводы о грубых погрешностях и их влиянии на точность измерений.

Контрольные вопросы:

1. Что такое грубые погрешности?
2. Какие критерии используются для выявления грубых погрешностей?
3. Какой критерий Вы использовали в данной лабораторной работе и почему?
4. Что делают с грубыми погрешностями в общем массиве данных и почему?
5. Запишите условие для выявления грубых погрешностей.

Лабораторная работа 3.

Определение метрологических характеристик электроизмерительных приборов (емкостного и индуктивного бесконтактного выключателей)

Цели работы:

1. Изучить принцип действия и экспериментально определить расстояния срабатывания на различные материалы емкостного и индуктивного бесконтактных выключателей.
2. Определить основные метрологические характеристики данных электроизмерительных приборов.

Теоретические сведения

Емкостным датчиком называют преобразователь параметрического типа, в котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение емкостного сопротивления [2].

Обычно емкостный датчик представляет собой плоский или цилиндрический конденсатор, одна из обкладок которого испытывает подвергаемое контролю перемещение, вызывая изменение емкости. Пренебрегая краевыми эффектами, можно выразить емкость для плоского конденсатора следующим образом:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}. \quad (3.1)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заключенной между обкладками; S и d – площадь поверхности рассматриваемых обкладок и расстояние между ними соответственно, мм² и мм.

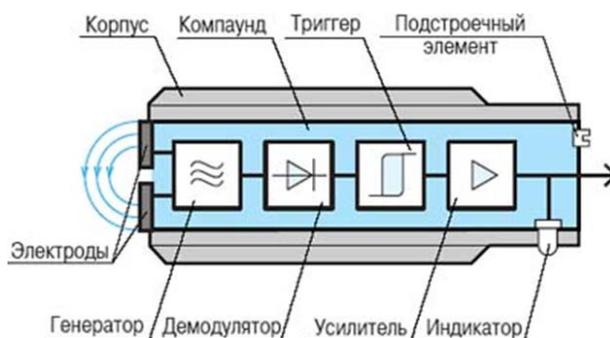


Рисунок 3.1 – Конструкция емкостного датчика

1. Генератор обеспечивает электрическое поле взаимодействия с объектом.
2. Демодулятор преобразует изменение амплитуды высокочастотных колебаний генератора в изменение постоянного напряжения.

3. Триггер обеспечивает необходимую крутизну фронта сигнала переключения и значение гистерезиса.

4. Усилитель увеличивает выходной сигнал до необходимого значения.

5. Светодиодный индикатор показывает состояние выключателя, обеспечивает работоспособности, оперативность настройки.

6. Компаунд обеспечивает необходимую степень защиты от проникновения твердых частиц и воды.

7. Корпус обеспечивает монтаж выключателя, защищает от механических воздействий. Выполняется из латуни или полиамида, комплектуется метизными изделиями.

Таблица 3.1 – Характеристики емкостного датчика

Расстояние срабатывания	10,0 мм
Гарантированный интервал срабатывания	0–7,2 мм
Напряжение питания	10–30 В
Максимальный ток нагрузки	не более 1,5 В
Потребляемый ток	не более 15,0 мА
Частота срабатывания максимальная	100 Гц
Степень защиты	IP65
Диапазон рабочих температур	от –25 °С до +70 °С

Принцип работы емкостного датчика: Приближение объекта воздействия из металла или диэлектрика к чувствительной поверхности увеличивает емкость между электродами конденсатора и вызывает увеличение амплитуды колебаний генератора. При достижении амплитудой генератора порогового значения, схемой управления формируется выходной сигнал электронного ключа датчика, который используется для коммутации электрических цепей и сигнализации.

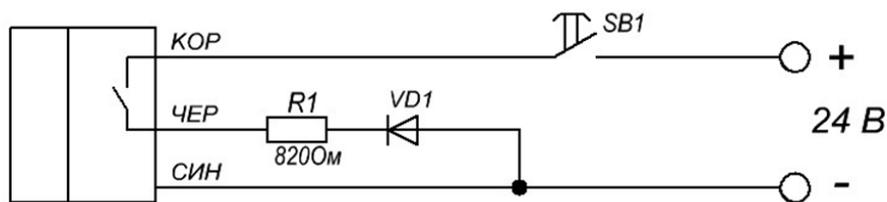


Рисунок 3.2 – Схема подключения емкостного датчика

Емкостные датчики применяются для контроля заполнения резервуаров жидким, порошкообразным или зернистым веществом, как конечные выключатели на автоматизированных линиях, конвейерах, роботах, обрабатывающих центрах, станках, в системах сигнализации, для позиционирования различных механизмов и т.д.

Индуктивный датчик – это устройство, предназначенное для контроля положения объектов из металла. Индуктивный датчик представляет собой катушку индуктивности с магнитопроводом, который создает магнитное поле и реагирует при внесении управляющего объекта.

По схеме построения индуктивные датчики можно разделить на **одинарные и дифференциальные**. **Одинарный** индуктивный датчик содержит одну измерительную ветвь, **дифференциальный** – две. В дифференциальном индуктивном датчике при изменении измеряемого параметра одновременно изменяются индуктивности двух одинаковых катушек, причем изменение происходит на одну и ту же величину, но с обратным знаком.

Индуктивность одинарного индуктивного датчика:

$$L = \frac{W\Phi}{I}, \quad (3.2)$$

где W – число витков; Φ – пронизывающий магнитный поток, Вб; I – проходящий по катушке ток, А.

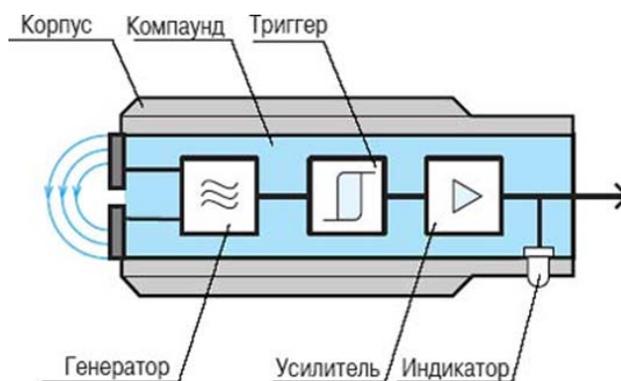


Рисунок 3.3 – Конструкция индуктивного датчика

1. Генератор обеспечивает зону чувствительности индуктивного датчика.
2. Триггер обеспечивает необходимую крутизну фронта сигнала переключения и значение гистерезиса.
3. Усилитель увеличивает амплитуду выходного сигнала до необходимого значения.
4. Светодиодный индикатор показывает включенное/выключенное состояние индуктивного датчика, обеспечивает контроль работоспособности, оперативность настройки и ремонта оборудования.
5. Компаунд обеспечивает необходимую степень защиты от проникновения твердых частиц и воды.
6. Корпус обеспечивает монтаж индуктивного датчика, защищает от механических воздействий. Выполняется из латуни или полиамида, комплектуется метизными изделиями.

Принцип работы индуктивного датчика: принцип действия основан на изменении амплитуды колебаний генератора при внесении в активную зону датчика металлического, магнитного, ферро-магнитного или аморфного мате-

риала определенных размеров. При подаче питания на конечный выключатель в области его чувствительной поверхности образуется изменяющееся магнитное поле, наводящее во внесенном в зону материале вихревые токи, которые приводят к изменению амплитуды колебаний генератора. В результате вырабатывается аналоговый выходной сигнал, величина которого изменяется от расстояния между датчиком и контролируемым предметом.

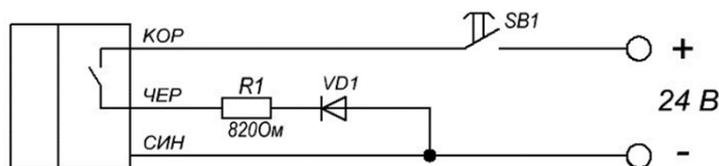


Рисунок 3.4 – Схема подключения индуктивного датчика

Индуктивные датчики предназначены для контроля положения металлических объектов. В промышленном оборудовании используются в качестве бесконтактных концевых и путевых выключателей.

Ход работы:

1. Подключить блок питания, выставить рабочее напряжение 24 В. При не правильном подключении напряжения с блока питания загорается красная лампочка на блоке индикации.

2. Включить емкостной датчик, нажав кнопку на блоке индикации, при этом загорится включится подсветка выключателя. Закрепить образец материала в зажиме. Отвести исследуемый образец на максимальное расстояние от датчика. Перемещать образец в исходное положение, пока датчик не сработает.

3. Записать расстояние срабатывания датчика в мм в таблицу 3.2, учитывая, что 1 оборот рукоятки соответствует шагу в 0,5 мм. Провести измерения не менее 10 раз.

4. Включить индуктивный датчик, нажав кнопку на блоке индикации, при этом загорится включится подсветка выключателя. Закрепить образец материала в зажиме. Отвести исследуемый образец на максимальное расстояние от датчика. Перемещать образец в исходное положение, пока датчик не сработает.

5. Записать расстояние срабатывания датчика в мм в таблицу 3.3, учитывая, что 1 оборот рукоятки соответствует шагу в 0,5 мм. Провести измерения не менее 10 раз.

Таблица 3.2 – Запись результатов измерений на емкостном бесконтактном выключателе

№ измерений	Материал							
	Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.
1								
2								
...
10								

Таблица 3.3 – Запись результатов измерений на индуктивном бесконтактном выключателе

№ измерений	Материал							
	Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.
1								
2								
...
10								

6. Рассчитать основные метрологические характеристики для каждого датчика [3]:

Среднее арифметическое значение:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (3.3)$$

где X_i – расстояние срабатывания, мм; n – количество измерений.

Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (3.4)$$

Доверительный интервал:

$$\Delta = \sigma t = 2.23\sigma, \quad (3.5)$$

где $t = 2,23$ – критерий Стьюдента для 10 измерений, при точности 0,95.

7. Записать полученные результаты в виде:

$$L_{\text{ср}} = \bar{X} \pm \Delta. \quad (3.6)$$

Оформление и содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Описание используемого оборудования.
3. Методика проведения эксперимента.
4. Полученные результаты.
5. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое емкостной измерительный преобразователь? Расскажите принцип его работы.
2. Что такое индуктивный измерительный преобразователь? Расскажите принцип его работы.
3. Запишите формулу для определения среднего арифметического значения результатов измерений.
4. Запишите формулу для определения среднеквадратического отклонения результатов измерений от истинного значения.
5. Запишите формулу для определения доверительного интервала.
6. Поясните, как правильно записать результат измерения, учитывая правила округления и разрядность полученных значений.

Лабораторная работа 4. Измерение мощности в цепях переменного тока

Цель работы: изучение различных видов мощности в электрической цепи, освоение методов измерения мощности в электрической цепи.

Теоретические сведения

Под активной мощностью электрической цепи P понимают среднее значение мгновенной мощности p за период T . Физически активная мощность представляет собой энергию, выделяемую в единицу времени в виде теплоты на участке цепи в сопротивлении R [4].

Значение мощности зависит от действующих тока и напряжения цепи и угла сдвига фаз между напряжением и током. Множитель $\cos\varphi$ называют **коэффициентом мощности**.

Для цепи с резистивным элементом $\cos\varphi = 1$ и $\varphi = 0$. В цепи с идеальной катушкой индуктивности ток отстает от напряжения на угол $\varphi = \pi/2$, а в цепи с электрическим конденсатором, наоборот, ток опережает напряжение на угол $\varphi = \pi/2$.

Переменная мощность, идущая на увеличение магнитного или электрического полей или поступающая обратно в сеть, называется **реактивной мощностью**.

Мощность, изменяющаяся с двойной частотой, называется **полной мощностью** и, так же, как и реактивная, выражается вольт-амперах ($V \cdot A$), единица измерения активной мощности – Ватт (Вт).

Измерение мощности обычно производится с помощью ваттметра с электродинамической системой, которая включает в себя две катушки – неподвижную и подвижную.

Подвижная катушка выполняется из очень тонкого провода, и обладает практически только активным сопротивлением, она называется **параллельной обмоткой**. Она может вращаться в магнитном поле, создаваемом неподвижной катушкой, и включается параллельно участку цепи.

Неподвижная катушка выполняется из толстого провода и имеет очень малое активное сопротивление, называется **последовательной обмоткой** и включается в цепь последовательно.

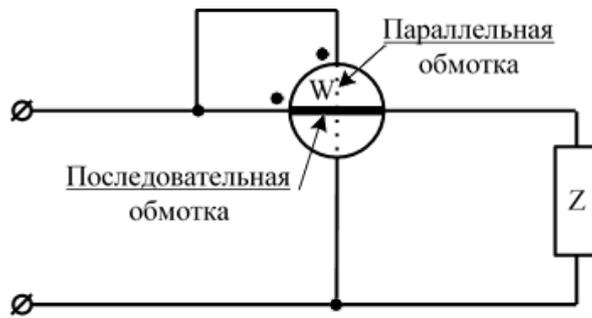


Рисунок 4.1 – Ваттметр в составе электрической схемы

На схемах ваттметр обозначается так, как показано на рисунке 4.1. Одна пара концов (расположена горизонтально) принадлежит последовательной обмотке, другая пара концов (расположена вертикально) принадлежит параллельной обмотке. На концах одноименных зажимов обмоток (у начала или конца обмотки) принято ставить точки.

Ход работы:

1. Измерение мощности в цепи с активной нагрузкой:

Убедитесь, что оборудование обесточено. Соберите и проверьте схему эксперимента, представленную на рис. 4.2.

Все коммутации проводить при выключенном питании лабораторной установки и выключенных мультиметрах!

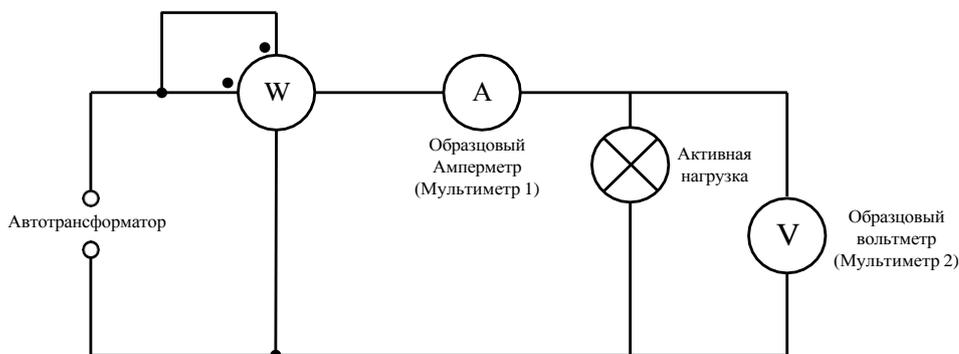


Рисунок 4.2 – Схема экспериментальной цепи

1. Установить регулятор напряжения Автотрансформатора на отметку U, B (см. табл. 4.1).
2. Подключить контакт $K1$ выхода Автотрансформатора к контакту $K1$ панели «Измеритель мощности».
3. Подключить контакт $K2$ выхода Автотрансформатора к контакту $K2$ панели «Измеритель мощности».
4. Подключить контакт $K3$ панели «Измеритель мощности» к гнезду 7 мультиметра 1 (рис. 4.3).
5. Перевести Мультиметр 1 в режим измерения переменного тока, предел измерения 10 А.

6. Подключить гнездо 9 мультиметра 1 (рис. 4.3) к контакту *K1.1* Активной нагрузки панели «Блок нагрузок».

7. Подключить контакт *K1.2* Активной нагрузки панели «Блок нагрузок» к гнезду 10 мультиметра 2 (рис. 4.3).

8. Подключить гнездо 9 мультиметра 2 (рис. 4.3) к контакту *K2.1* активной нагрузки панели «Блок нагрузок».

9. Подключить контакт *K2.2* активной нагрузки панели «Блок нагрузок» к контакту *K4* панели «Измеритель мощности».

10. Включить питание лабораторной установки, Мультиметр 1, перевести Мультиметр 2 в режим измерения переменного напряжения, предел измерения установится автоматически.

11. Показания мультиметров и измерителя мощности занести в таблицу 4.2.

12. Повторить измерения еще 9 раз с интервалом времени 10 с, результаты занести в таблицу 4.2.

13. Не поворачивая регулятор напряжения автотрансформатора, отключить питание лабораторной установки, мультиметры.

Таблица 4.1 – Варианты индивидуальных заданий

№ вар.	U , В	№ вар.	U , В	№ вар.	U , В
1	180	5	184	9	188
2	181	6	185	10	189
3	182	7	186	11	190
4	183	8	187	12	191

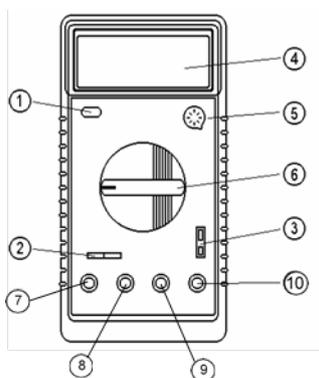


Рисунок 4.3 – Схема лицевой панели цифрового мультиметра Mastech MY64:
1 – кнопка включения питания; 2 – гнездо для измерения подключения электрических конденсаторов; 3 – гнездо для измерения температуры; 4 – ЖК дисплей; 5 – гнездо подключения транзисторов; 6 – переключатель функций; 7 – гнездо для подключения щупа при измерении силы тока до 10 А; 8 – гнездо для подключения щупа при измерении силы тока до 200 мА; 9 – гнездо СОМ; 10 – гнездо для подключения щупа при измерении напряжения, частоты, сопротивления

Таблица 4.2 – Результаты экспериментальных и расчетных данных эксперимента № 1

№ эксп.	Показания измерителя мощности			Показания образцовых приборов		
	U , В	I , А	P , Вт	U , В	I , А	Q , ВА
1						
2						
...						
10						
$M(x)$						
$D(x)$						
$\sigma(x)$						

2. Измерение мощности в цепи с активной и реактивной нагрузкой

Убедитесь, что оборудование обесточено. Соберите и проверьте схему эксперимента, представленную на рис. 4.4.

Все коммутации проводить при выключенном питании лабораторной установки и выключенных мультиметрах!

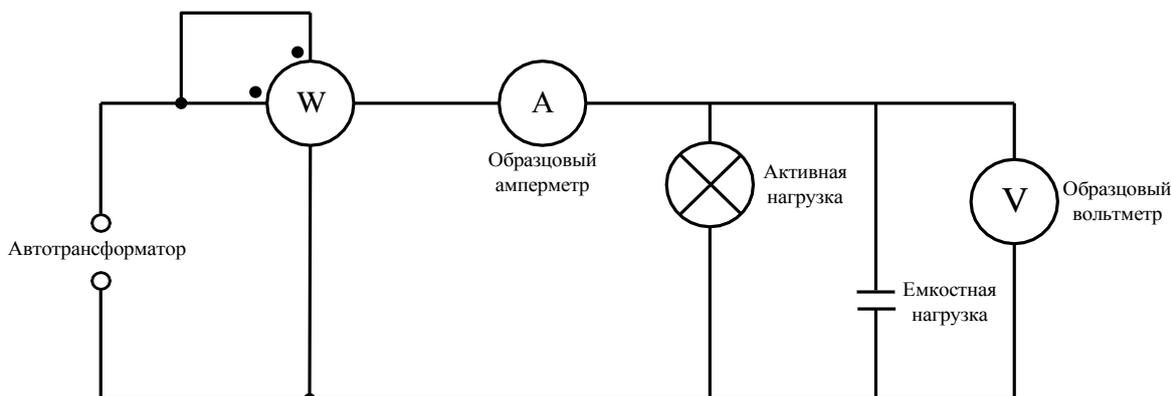


Рисунок 4.4 – Схема экспериментальной цепи

1. Установить регулятор напряжения Автотрансформатора на отметку U , В (см. табл. 4.1).
2. Подключить контакт $K1$ выхода Автотрансформатора к контакту $K1$ панели «Измеритель мощности».
3. Подключить контакт $K2$ выхода Автотрансформатора к контакту $K2$ панели «Измеритель мощности».
4. Подключить контакт $K3$ панели «Измеритель мощности» к гнезду 7 мультиметра 1 (рис. 4.3).
5. Перевести Мультиметр 1 в режим измерения переменного тока, предел измерения 10 А.
6. Подключить гнездо 9 мультиметра 1 (рис. 4.3) к контакту $K1.1$ Активной нагрузки панели «Блок нагрузок».
7. Подключить контакт $K1.2$ активной нагрузки панели «Блок нагрузок» к контакту $K3.2$ емкостной нагрузки панели «Блок нагрузок».

8. Подключить контакт **K2.1** активной нагрузки панели «Блок нагрузок» к контакту **K4.1** емкостной нагрузки панели «Блок нагрузок».

9. Подключить контакт **K2.2** активной нагрузки панели «Блок нагрузок» к контакту **K4** панели «Измеритель мощности».

10. Подключить контакт **K3.1** емкостной нагрузки панели «Блок нагрузок» к гнезду 10 мультиметра 2 (рис. 4.3).

11. Подключить гнездо 9 мультиметра 2 (рис. 4.3) к контакту **K4.2** емкостной нагрузки панели «Блок нагрузок».

12. Включить питание лабораторной установки, Мультиметр 1, перевести Мультиметр 2 в режим измерения переменного напряжения, предел измерения установится автоматически

13. Показания мультиметров и измерителя мощности занести в таблицы 4.3 и 4.4.

14. Повторить измерения еще 9 раз с интервалом времени 10 с, результаты занести в таблицы 4.3 и 4.4.

15. Плавно повернуть регулятор напряжения автотрансформатора против часовой стрелки до упора, установить указатель регулятора на отметку «0 В», отключить питание лабораторной установки, мультиметры.

Таблица 4.3 – Результаты эксперимента № 2

№ эксп.	Показания измерителя мощности		Показания образцовых приборов	
	$U, В$	$I, А$	$U, В$	$I, А$
1				
2				
...				
10				
$M(x)$				
$D(x)$				
$\sigma(x)$				

Таблица 4.4 – Результаты экспериментальных и расчетных данных эксперимента № 2

№ эксп.	Полная мощность, ВА	Активная мощность, Вт	Реактивная мощность, ВА	Угол сдвига, рад.
	$S = U \cdot I$	P	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	φ
1				
...				
10				

Порядок обработки экспериментальных данных

1. Для полученных значений физических величин определить математическое ожидание:

$$M_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4.1)$$

2. Для полученных значений физических величин определить дисперсию:

$$D_x = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^2 \quad (4.2)$$

3. Для полученных значений физических величин определить средне-квадратичное отклонение:

$$\sigma_x = \pm \sqrt{D_x} \quad (4.3)$$

4. По средним значениям тока и напряжения, полученным с помощью образцовых приборов в ходе эксперимента № 1, определить значение полной мощности в цепи по формуле:

$$Q = UI \sin \varphi \quad (4.4)$$

В цепи с идеальной катушкой индуктивности ток отстает от напряжения на угол $\varphi = \pi/2$, а в цепи с электрическим конденсатором, наоборот, ток опережает напряжение на угол $\varphi = \pi/2$.

Результаты занести в таблицу 4.2.

5. По средним значениям тока и напряжения, полученным с помощью образцовых приборов в ходе эксперимента № 2, определить значение полной мощности в цепи (см. пункт 4), результаты занести в таблицу 4.4.

Варианты исходных данных приведены в таблице 4.1.

Оформление и содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Описание используемого оборудования.
3. Методика проведения эксперимента.
4. Полученные результаты.
5. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается отличие активной нагрузки от реактивной, приведите примеры таких нагрузок?
2. Что называется коэффициентом мощности, что характеризует эта величина, в каких единицах измеряется?
3. Каким типом мощности характеризуют генераторы и электродвигатели, трансформаторы, почему?
4. Почему последовательная цепь ваттметров должна обладать малым, а параллельная – большим сопротивлением?

Лабораторная работа 5. Измерение параметров импульсов сигнала с использованием цифрового осциллографа

Цель работы: изучить принцип действия и устройство электронного осциллографа, освоить методику измерений с помощью осциллографа, измерить параметры неизвестных электрических сигналов (амплитудное напряжение, длительность импульса, частоту).

Теоретические сведения

Электронный осциллограф (ЭО) – прибор, предназначенный для визуального наблюдения осциллограмм, имеющих вид линий или фигур и представляющих собой функциональную зависимость двух физических величин, преобразованных в пропорциональные им значения напряжения. Наиболее часто исследуется зависимость напряжения от времени. С помощью осциллографа можно измерять постоянное и переменное напряжения, а также временные параметры сигналов (период, длительность и т. д.) [5].

Основным элементом осциллографа является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), которая представляет собой стеклянный баллон, в котором создан вакуум. В баллоне находятся электронная пушка, фокусирующая система, отклоняющие пластины и экран (рис. 5.1).

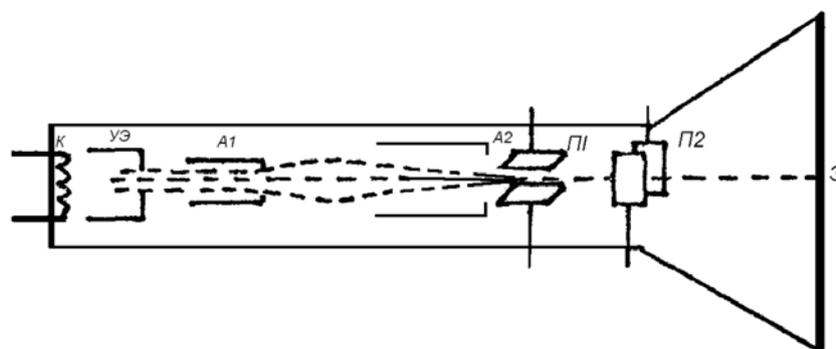


Рисунок 5.1 – Электронно-лучевая трубка:

К – катод; УЭ – управляющий электрод; А1 – первый анод; А2 – второй анод;
П1 – вертикально отклоняющие пластины; П2 – горизонтально отклоняющие
пластины; Э – экран

Электронная пушка предназначена для получения, формирования, фокусировки и ускорения пучка электронов и состоит из катода К, управляющего электрода (УЭ, называемого иногда модулятором), двух анодов А1 и А2 и экрана Э. Разогретый катод эмитирует электроны, которые вылетают под различными углами к оси трубки. Далее они попадают в электрическое поле между катодом и управляющим электродом, имеющим форму цилиндра с отверстием в центре. На УЭ подается отрицательный потенциал относительно катода. Под действием поля, созданного УЭ, поток электронов становится сходящимся

и выходит через узкое отверстие в УЭ. Интенсивность пучка, т.е. число пролетающих электронов за единицу времени, можно регулировать изменением потенциала УЭ, так как его поле оказывает еще и тормозящее действие на электроны. При этом регулируется яркость светящегося пятна на экране.

После УЭ пучок электронов вначале сходится в точке, называемой кроссвером, а затем расходится. Далее он попадает в электрическое поле фокусирующей системы, состоящей из анодов А1 и А2. Внутри анода А1 имеется диафрагма с узким отверстием для ограничения сечения пучка. В пространстве между А1 и А2 также происходит разгон электронов за счет ускоряющего электрического поля. Это необходимо для сообщения электронам кинетической энергии, достаточной для возбуждения молекул люминофора экрана, сопровождающегося свечением.

Принцип действия осциллографа

В электронно-лучевой трубке электронная пушка формирует узконаправленный пучок электронов, под действием которого на экране высвечивается небольшое пятно, имеющее вид точки. Яркость и форму пятна-точки можно регулировать. Смещать точку на экране ЭО можно подавая напряжения на вертикально отклоняющие (Y) или горизонтально отклоняющие (X) пластины, при этом величина смещения будет всегда прямо пропорциональна поданному напряжению. Если напряжения будут меняться, то будут изменяться смещения электронного пучка по осям X и Y . В результате точка будет двигаться на экране по некоторой траектории. Если напряжения изменяются синхронно и периодически с частотой выше 20 Гц, то изображение перестает восприниматься как движущаяся по экрану светящаяся точка, а воспринимается как непрерывная линия – осциллограмма, представляющая собой график зависимости напряжения U_y от U_x .

На практике чаще всего ЭО применяется для определения зависимости исследуемого напряжения (сигнала) от времени (определение формы сигнала).

Ход работы:

1. Изучить устройство осциллографа цифрового GDS-72102 (рис. 5.2).



Рисунок 5.2 – Осциллограф цифровой GDS-72102

Особенности:

- технология VPO – визуализация сигнала в режиме аналогового осциллографа (скорость обновления экрана | 80.000 осц./с);
- автоматические и курсорные измерения;
- режимы растяжки, самописца и XY;
- цифровые фильтры;
- режим сегментированной памяти (до 2048 сегментов);
- режим «Поисковая машина»;
- декодирование сигналов;
- память – 24 осциллограммы, 20 профилей;
- вывод данных на печать (поддержка PictBrige);
- синхронизация и декодирование сигналов Опции – логический анализатор, функциональный генератор, VGA выход для подключения монитора.

Таблица 5.1 – Технические характеристики осциллографа

Тип осциллографа	Цифровой
Число каналов	2
Полоса пропускания	100 МГц
Максимальная частота дискретизации	2 ГГц
Максимальный объем памяти	2 МБ
АЦП (бит)	8
Сопротивление входа	1 МОм
Логические каналы	опция – 8, опция – 18
Особенности	Технология VPO – визуализация сигнала в режиме аналогового осциллографа (скорость обновления экрана 80.000 осц./с). Автоматические и курсорные измерения. Режимы растяжки, самописца и XY. Синхронизация по длительности импульса и ТВ. Математические функции и БФП. Цифровые фильтры. Режим сегментированной памяти (до 2048 сегментов). Режим «Поисковая машина». Декодирование сигналов. Память – 24 осциллограммы, 20 профилей. Вывод данных на печать (поддержка PictBrige). Синхронизация и декодирование сигналов Опции - логический анализатор, функциональный генератор, VGA выход для подключения монитора.
Интерфейс	USB RS-232 Опция – LAN Опция - GPIB
Дисплей	TFT, 20,0, 800x600, 8X10
Масса (кг)	4,2

2. Изучить устройство генератора сигналов низкочастотного ГЗ-123 (рис. 5.3).



Рисунок 5.3 – Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-123

Генератор ГЗ-123 предназначен для исследования, настройки и испытательных систем и приборов в радиоэлектронике, связи, вычислительной и измерительной технике. Используется для измерения: амплитудно-частотных характеристик и нелинейных искажений НЧ-трактов; акустических и гидроакустических измерений; питания маломощных приборов при испытаниях; проверки вольтметров переменного тока, делителей напряжения, аттенюаторов, измерительных, силовых, строчных трансформаторов, динамических громкоговорителей. Прибор ГЗ-123 применяется для получения кольцевых разверток в осциллографических установках. Может использоваться как источник сигнала в фазизирующих устройствах и в анализаторах спектра, источник мощного синусоидального сигнала с синхронизацией частоты от внешнего кварцевого генератора и как задающий генератор для проверки логических схем. Генератор РС-типа ГЗ-123 с дискретной перестройкой частоты и выходного напряжения. Имеется возможность плавной перестройки частоты и напряжения в пределах дискретности. Симметричный и несимметричный выходы для подключения согласованных нагрузок, повышенная выходная мощность, возможность синхронизации частоты внешним сигналом, наличие дополнительных выходов с сигналом прямоугольной формы и сигнала с фазовым сдвигом 90° , дистанционное управление частотой обеспечивают универсальность генератора ГЗ-123.

Характеристики ГЗ-123:

- диапазон частот 1 Гц–300 кГц;
- пределы допускаемой основной погрешности установки частоты 1–1,5 % уровня выходного напряжения $\pm[2 + (4B/U_n)]$;
- выходная мощность 10 Вт;
- масса 15,5 кг.

Задание 1. Проверить калибровку коэффициента вертикального отклонения k_y и коэффициента горизонтальной развертки k_x (горизонтального отклонения). Для этого измерить амплитуду и период калибровочного (известного) сигнала, подаваемого на вход канала «А» от специального устройства – калиб-

ратора. Амплитуда и частота сигнала калибратора заранее известны и стабилизированы с высокой степенью точности. Они имеют прямоугольную форму, амплитуда сигнала $U_m = 0,6$ В и частота $\nu = 1$ кГц. По известной частоте калибровочного сигнала легко вычислить его период T , который равен $T = 1/\nu = 1$ мс. Нужно измерить амплитуду и период калибровочного сигнала на экране и проверить, соответствуют ли измеренные значения известным параметрам калибровочного сигнала.

1. Соединить выход калибровочного генератора с входом канала «А».

2. Вытянув кнопку на себя включить осциллограф.

3. С помощью переключателей при нажатой кнопке получить на экране осциллографа изображение калибровочного сигнала. При необходимости с помощью регулятора «уровень» добиться «остановки» изображения.

4. Измерить вертикальный размер сигнала y_m и горизонтальный размер сигнала x_m , соответствующий одному периоду, в делениях сетки экрана. Измерения провести при значениях коэффициентов отклонения k_y : 2, 1, 0,5, 0,2 и 0,1 В/дел; k_x : 1, 2, 5 мс/дел. Определить при каких коэффициентах отклонения достигается наилучшая точность измерений. Результаты измерений занести в таблицу, представленную на рисунке 5.4.

5. Рассчитать напряжение, период и частоту калибровочного сигнала по формулам:

$$U_k = y_m \cdot K_y \quad (5.1)$$

$$T_k = x_m \cdot k_x \quad (5.2)$$

$$\nu_k = \frac{1}{T_k} \quad (5.3)$$

Результаты расчетов также занести в таблицу, представленную на рисунке 5.4.

Проверяемый коэффициент отклонения	Параметр калибровочного сигнала	Значение коэффициента отклонения	Размер изображения на экране, дел.	Измеренное значение калибровочного сигнала
K_y	0,6 В	2 В/дел		
		1 В/дел		
		0,5 В/дел		
		0,2 В/дел		
		0,1 В/дел		
K_x	1 мс	1 мс/дел		
		0,5 мс/дел		
		0,2 мс/дел		
		0,1 мс/дел		

Рисунок 5.4 – Проверка калибровки коэффициентов отклонения

Задание 2. Исследовать с помощью осциллографа электрические сигналы различной формы и частоты, получаемые от генератора.

1. Соединить кабелем вход канала «А» осциллографа с выходным разъемом генератора.

2. Регулятор амплитуды установить в крайнее левое положение.

3. Включить на генераторе диапазон частот 100 кГц.

4. Используя осциллограф как контрольный прибор, настроить генератор в режим генерации следующих сигналов: а) синусоидальные, частотой примерно 20 кГц, амплитудой 2 В; б) треугольные, частотой 40 кГц, амплитудой 4 В; в) прямоугольные, частотой 60 кГц, амплитудой 6 В; г) пилообразные, частотой 80 кГц, амплитудой 8 В.

Для каждого из сигналов добиться на экране четкого устойчивого изображения, которое зарисовать в масштабе (по клеточкам) и записать значения коэффициентов отклонения, при которых они были получены. Вычислить значения амплитудных напряжений, период и частоту исследуемых сигналов и записать полученные значения на соответствующих осциллограммах. При наблюдении сигналов и измерении их параметров руководствоваться общими рекомендациями при работе с осциллографом. Результаты измерений представить в таблицу, представленную на рисунке 5.5.

Исследуемый сигнал		Результаты измерений						
Вид сигнала	ν , кГц	$\times T$, дел.	k_x , мс/дел	T , мс	ν , кГц	y_m , дел.	k_y , В/дел	U_m , В
Синусоидальный	~20							
Треугольный	~40							
Прямоугольный	~60							
Пилообразный	~80							

Рисунок 5.5 – Результаты измерения параметров электрических сигналов

Оформление и содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Описание используемого оборудования.
3. Методика проведения эксперимента.
4. Полученные результаты.
5. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Назначение осциллографа и его основные блоки.
2. Электронная пушка. Ускорение и фокусировка электронного луча.
3. Коэффициент отклонения и коэффициент развертки.
4. Назначение и работа блока синхронизации.
5. Порядок измерения параметров сигнала, представленного на экране осциллографа.

Лабораторная работа 6

Исследование датчика давления

Цель работы: изучение принципа работы датчика давления, его характеристик и применение в различных областях.

Теоретические сведения

Датчик давления – устройство, физические параметры которого изменяются в зависимости от давления измеряемой среды (жидкости, газа, пара) [6].

В зависимости от вида опорного давления все датчики разделяются на следующие виды:

- датчики абсолютного давления предназначены для измерения величины абсолютного давления жидких и газообразных сред. Опорное давление – вакуум. Воздух из внутренней полости чувствительного элемента датчика откачан. Например, барометр – частный случай датчика абсолютного давления;

- датчики избыточного давления предназначены для измерения величины избыточного давления жидких и газообразных сред. Опорное давление – атмосферное; таким образом, одна сторона мембраны соединена с атмосферой;

- датчики дифференциального (разности, перепада) давления предназначены для измерения разности давления среды и используются для измерения расхода жидкостей, газа, пара, уровня жидкости. Давление подается на обе стороны мембраны, а выходной сигнал зависит от разности давлений;

- датчики гидростатического давления предназначены для преобразования гидростатического давления контролируемой среды в сигнал постоянного тока. Измеряют давление столба жидкости, зависящее только от его высоты и от плотности самой жидкости;

- датчики вакуумметрического давления (разряжения) предназначены для измерения величины вакуумметрического давления жидких и газообразных сред. Опорное давление в этих датчиках также атмосферное. Однако, в отличие от датчиков избыточного давления, измеряемое давление меньше атмосферного;

- датчики избыточного давления-разряжения представляют собой сочетание датчиков избыточного и вакуумметрического давлений, т.е. измеряют как давление, так и разрежение.

Объектом исследования в данной работе является датчик избыточного давления SDE1-D10-G2-H18-C-P4-M8, конструкция и технические характеристики которого представлены на рисунке 6.1 и в таблице 6.1.

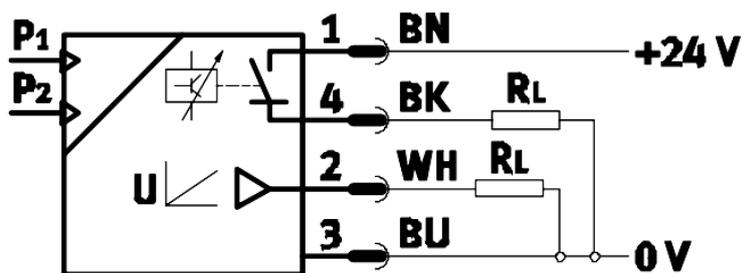


Рисунок 6.1 – Схема подключения датчика давления:
 1 – питание 24 В; 2 – дискретный сигнал; 3 – аналоговый сигнал;
 4 – питание 0 В

Таблица 6.1 – Технические характеристики датчика давления

Параметр	Значение
Напряжение	15 ... 30 В
Давление	-1 ... +10 бар
Диапазон температур	0 ... 50 °С
Выходной сигнал	0 – 10 В
Максимальный выходной ток	150 мА
Точность	±2 % от измеряемого диапазона

Принцип работы датчика давления основан на пьезорезисторном методе. Электрическое сопротивление чувствительного элемента зависит от величины воздействующего на него давления. Функциональная схема датчика давления представлена на рисунке 6.2.

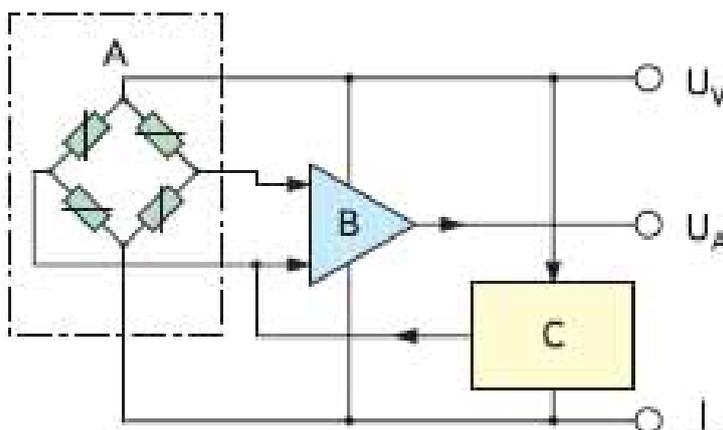


Рисунок 6.2 – Функциональная схема датчика давления:
 А – мостовая измерительная схема; В – усилитель; С – схема температурной компенсации; U_V – напряжение питания; U_A – выходное напряжение

Лабораторная установка состоит из основных компонентов:
 - пневматический датчик давления;

- аналого-цифровой модуль EasyPort;
- блок аналоговых сигналов;
- кабель ввода-вывода SysLink;
- блок подготовки воздуха;
- коллектор;
- блок питания;
- компрессор.

Ход работы:

1. Подготовить стенд к работе.

2. Подключить датчик давления к блоку аналоговых сигналов (рис. 6.3).

Красный провод датчика давления подключается к питанию 24 В на блок аналоговых сигналов, а синий провод – к 0 В. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q_3 пневматического датчика давления, подключается к INPUT U – Y_0 на блоке аналоговых сигналов.

3. Соединить пневматическими шлангами пневматические элементы через коллектор (рис. 6.4).

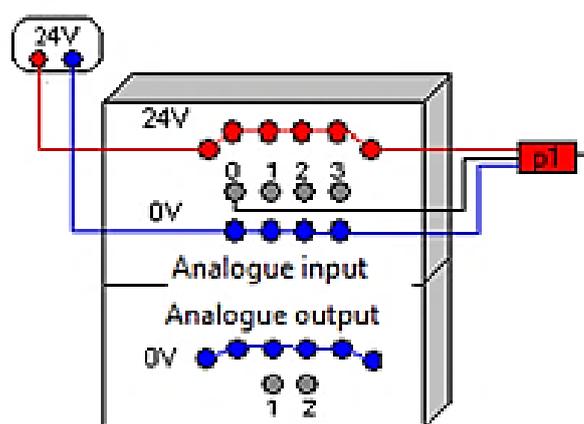


Рисунок 6.3 – Схема подключения датчика давления к стенду

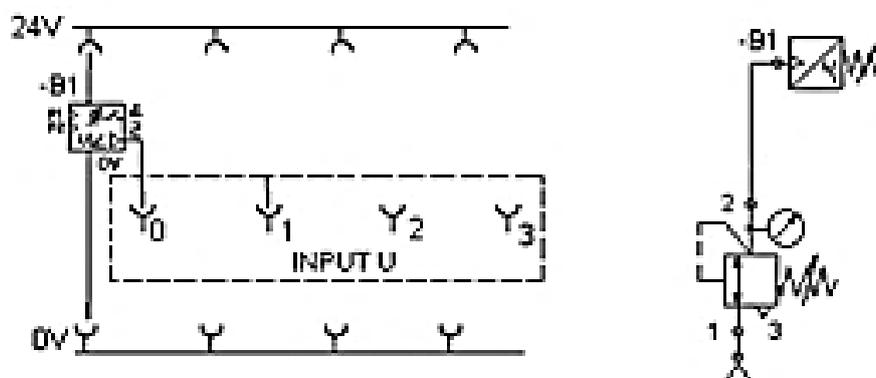


Рисунок 6.4 – Электрическая и пневматическая схема подключения установки

4. Нажать кнопку включения на источнике питания.
5. Запустить программу FluidLab-P. Открыть лабораторную работу [1.1] Pressure recording.
6. Начать процесс измерения давления нажатием на кнопку Start в программе FluidLab-P (рис. 6.5).

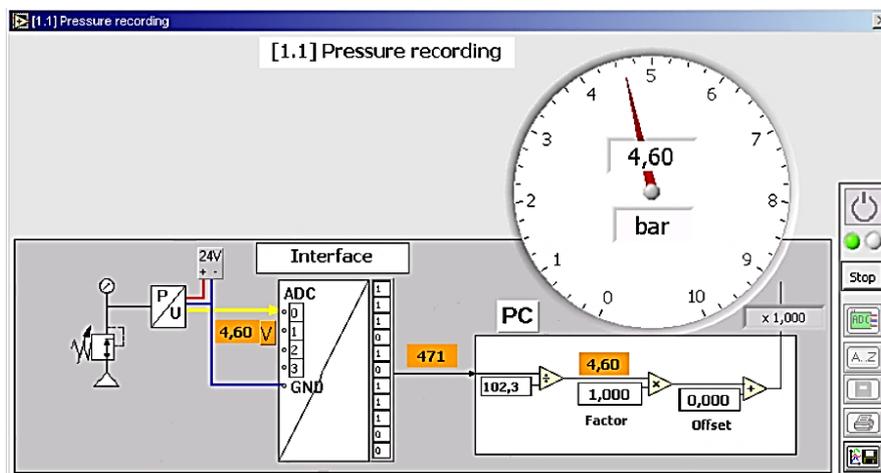


Рисунок 6.5 – Интерфейс лабораторной работы [1.1] Pressure recording

7. Используя регулятор давления блока подготовки воздуха плавно увеличить по манометру давление в системе. Зарегистрировать напряжение на модуле EasyPort и сравнить его с показаниями на датчике давления. Занесите полученные данные в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты измерений

Р, бар	Напряжение на модуле EasyPort, В	Давление на датчике, бар	Давление в программе FluidLab-P, бар
1			
2			
3			
4			
5			
6			

8. Сохранить изображение схемы измерения давления в формате .jpeg из программы FluidLab-P нажатием на кнопку сохранения.
9. Сравнить значения давления на датчике и в программе FluidLab-P, занесенные в таблицу 6.2.
10. Завершить измерение нажатием на кнопку Stop в программе FluidLab-P.
11. Закрывать клапан блока подготовки воздуха.
12. Выключить блок питания.
13. Разобрать исследованную систему.

Оформление и содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Описание используемого оборудования.
3. Методика проведения эксперимента.
4. Полученные результаты.
5. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое абсолютное, относительное (избыточное) и дифференциальное давление?
2. Какова методика настройки рабочего и дифференциального давлений?
3. В чем заключается принцип работы блока аналоговых сигналов EasyPort?
4. В чем заключается принцип работы датчика давления?

Лабораторная работа 7

Аналоговое измерение температуры и преобразование результатов измерения в цифровой сигнал

Цель работы: изучить методы измерения аналоговых сигналов при помощи операционных усилителей. Изучить методы преобразования аналогового сигнала в цифровой сигнал

Теоретические сведения

Основной функцией датчика является преобразование входной величины любой физической природы в величину на выходе, более удобную для контроля, регулирования или управления. Непосредственно использовать входной сигнал датчика для воздействия на последующие элементы автоматической системы не всегда возможно. Преобразование выходной величины датчика в удобный для последующего использования и измерения вид осуществляется в измерительных схемах. Входной величиной измерительной схемы являются переменное сопротивление или напряжение. Из большого разнообразия измерительных схем наиболее широко используются мостовые, дифференциальные и компенсационные. Мостовые схемы применяют преимущественно совместно с датчиками, работа которых основана на изменении сопротивления. Дифференциальные схемы применяют при необходимости сравнения двух величин или когда необходимо исключить синфазную составляющую в измеренном сигнале. Компенсационные схемы используются при измерении малых ЭДС. С развитием интегральной схемотехники все большее распространение получают измерительные схемы на основе ОУ. Этому соответствуют такие его качественные характеристики, как: возможность обеспечения постоянного коэффициента усиления; большой коэффициент подавления синфазного сигнала; малые смещения и дрейфы входных и выходных сигналов, малые выходные сопротивления и большое ($10^6 - 10^8$) выходное сопротивление. Большинство физико-технических величин являются по своим свойствам аналоговыми величинами. Они определяются и представляются в форме, пригодной для соответствующей обработки сигнала с помощью аналоговых измерительных устройств [7].

Дискретизация и кодирование непрерывных сигналов. Под дискретизацией понимается преобразование непрерывных сигналов в дискретные. При этом используется дискретизация по времени и по уровню. Дискретизация по времени выполняется путем взятия отсчетов функции $U(t)$ в определенные дискретные моменты времени t_k . В результате непрерывная функция $U(t)$ заменяется совокупностью мгновенных значений:

$$U_k = U(t_k) \quad (7.1)$$

Обычно моменты отсчетов выбираются на оси времени равномерно, т.е.

$$t_k = K \cdot \Delta t \quad (7.2)$$

Дискретизация по времени лежит в основе всех видов импульсной модуляции. Дискретизация значений функции (уровня) носит название квантования. Операция квантования сводится к тому, что вместо данного мгновенного значения сообщений $U(t)$ передаются ближайшие значения по установленной шкале дискретных уровней (рис. 7.1). Дискретные значения по шкале уровней выбираются равномерно:

$$U_k = K \cdot \Delta U \quad (7.3)$$

При квантовании вносится погрешность, т.к. истинные значения функции U заменяются округленными значениями U_k . Погрешность $\varepsilon = U - U_k$ является случайной величиной и проявляется на выходе как дополнительный шум, наложенный на передаваемый сигнал. Дискретизация одновременно по уровню и по времени позволяет непрерывное сообщение преобразовать в дискретное, которое затем может быть закодировано и передано методами дискретной техники.

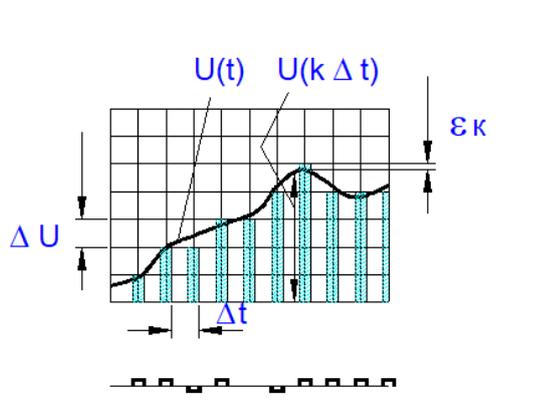


Рисунок 7.1 – Квантование аналогового сигнала

Достоинствами передачи сигналов путем дискретизации их являются возможность применения кодирования для повышения помехоустойчивости, удобства обработки сигналов и сопряжения устройств связи с цифровыми ЭВМ.

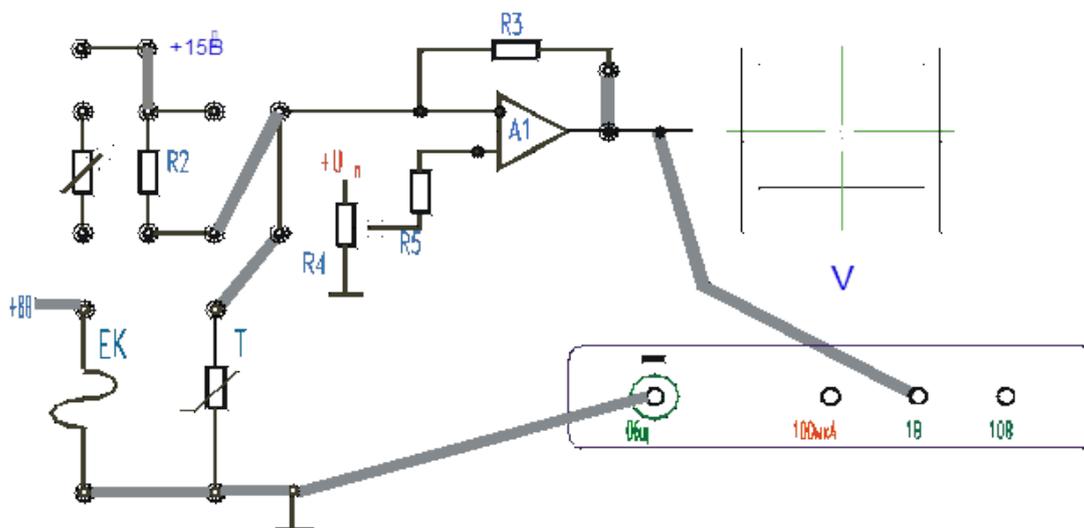


Рисунок 7.2 – Схема измерения температуры

Ход работы:

1. Разработайте и соберите схему для аналогового измерения температуры на основе терморезистора и инвертирующего операционного усилителя (рис. 7.2).

2. Сравните носители информации и информационные параметры, а также вид сигналов, поступающих от измерительных устройств. Отобразите результаты проделанной работы в соответствующей таблице.

3. Произведите преобразование выходного сигнала датчика в цифровой сигнал, соединив выход схемы (рис. 7.2) с входом АЦП (рис. 7.3).

4. Представьте в виде таблицы взаимосвязь показаний элемента индикации, кодированного двоичным кодом выходного сигнала АЦП, и значения температуры t^0 С.

Оформление и содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Описание используемого оборудования.
3. Методика проведения эксперимента.
4. Полученные результаты.
5. Выводы

Контрольные вопросы:

1. Первичные преобразователи температуры.
2. Виды измерительных схем.
3. Дискретизация по времени.
4. Дискретизация по уровню.
5. АЦП, назначение и принцип действия.
6. Пояснить работу схем.

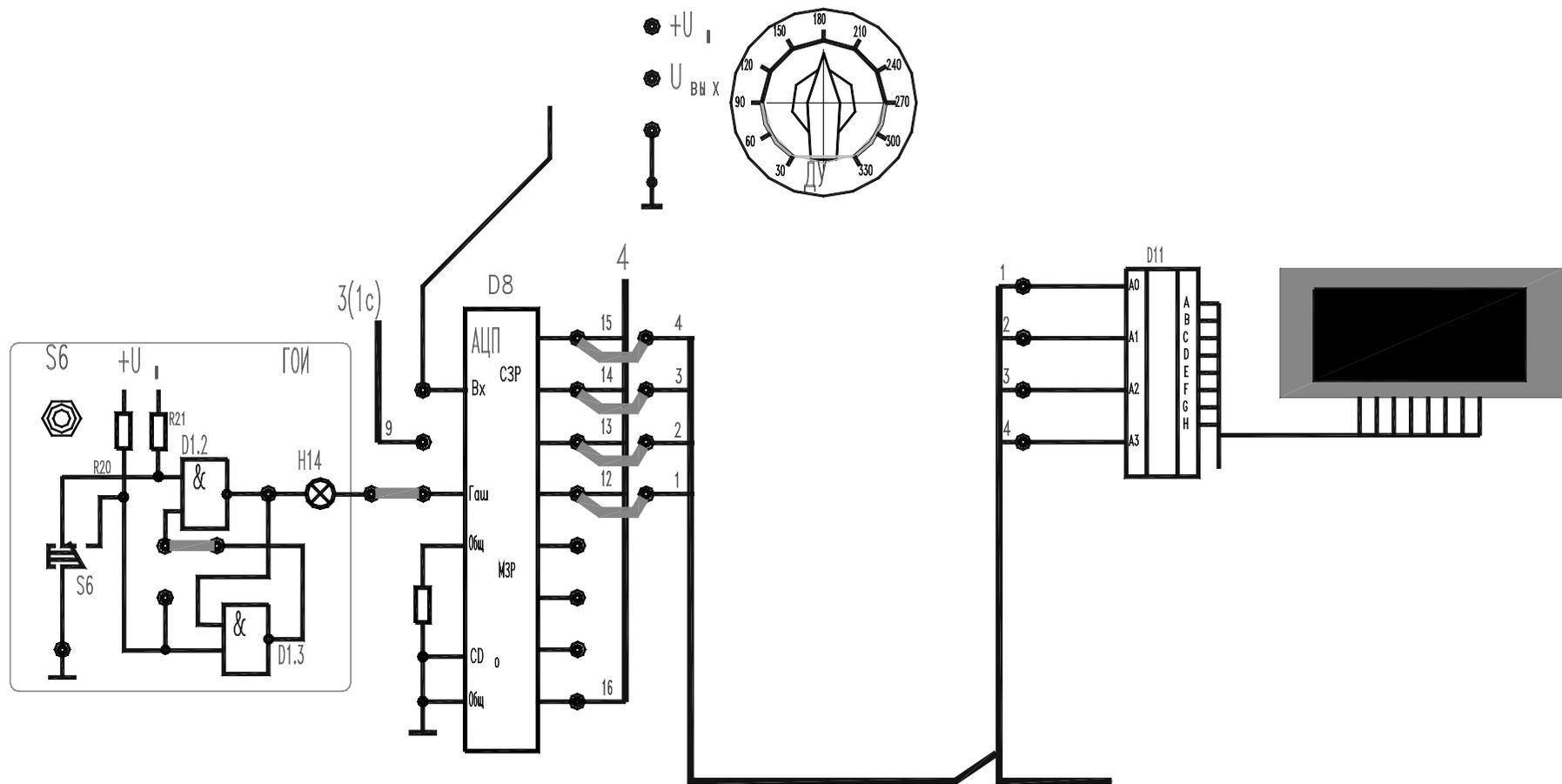


Рисунок 7.3 – Схема аналого-цифрового преобразователя (АЦП)

Лабораторная работа 8

Исследование регистратора температуры

Цель работы: углубление знаний по теории теплопроводности, изучение методики экспериментального определения коэффициента теплопроводности изоляционных материалов и приобретение навыков в проведении экспериментальных работ по теплообмену.

Теоретические сведения

Теория теплопроводности рассматривает тело, как непрерывную среду. Согласно основному закону теплопроводности – закон Фурье, вектор плотности теплового потока, передаваемого теплопроводностью пропорционален вектору градиента температуры [8].

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t = -\lambda \cdot n_0 \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \quad (8.1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности. (Вт/(м·К)).

Он характеризует способность вещества, из которого состоит рассматриваемое тело, проводить теплоту.

Вектор плотности теплового потока q всегда направлен в сторону наибольшего уменьшения температуры. Скалярная величина вектора плотности теплового потока.

$$q = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \quad (8.2)$$

Из формулы следует, что коэффициент теплопроводности λ определяет плотность теплового потока. При градиенте температуры 1 К/м. Коэффициент теплопроводности является физическим параметром и зависит от химической природы вещества и его физического состояния (плотности, влажности, давления, температуры). Коэффициент является справочной величиной.

Для металлов: с увеличением температуры λ уменьшается:

$$\lambda = \lambda_0(1 + b\Delta t), \quad (8.3)$$

где b – опытный коэффициент, определяющий изменение теплопроводности материала (за счет свободных электронов).

Для жидкости: с увеличением температуры λ уменьшается. Для газов: с увеличением температуры λ увеличивается.

Строительные, изоляционные и пористые материалы обладают меньшим коэффициентом теплопроводности за счет наличия в порах этих материалов газа.

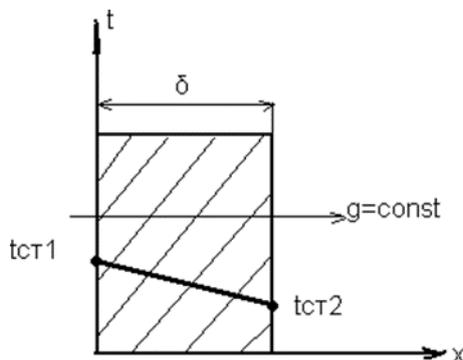


Рисунок 8.1 – Схема однослойной плоской стенки:

δ – толщина стенки; t_{cm1} , t_{cm2} – температура поверхности стенки; $t_{cm1} > t_{cm2}$;
 $\lambda = const$

Тепловой поток в соответствии с законом Фурье вычисляется по формуле:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} = \lambda \frac{(t_{cc} - t_{cc2})}{\delta} \quad (8.4)$$

$$q = \frac{\Delta t}{\frac{\delta}{\lambda}} = \frac{\Delta t}{Rl} \quad (8.5)$$

где $Rl = \delta/\lambda$ – внутреннее термическое сопротивление теплопроводности стенки.

Распределение температуры в плоской однородной стенке линейное.

Значение λ находят в справочниках при $t_{cp} = 0,5(t_{cm1} + t_{cm2})$.

Тепловой поток (мощность теплового потока) определяется по формуле:

$$Q = q \cdot F = (t_{cc1} - t_{cc2}) \cdot F \cdot \frac{\lambda}{\delta} \quad (8.6)$$

Ход работы:

1. Соберите схему установки для измерения теплозащитных свойств материалов (рис. 8.2).
2. Разместите образец материала в рабочей полости прибора.
3. Подключите установку к сети.
4. Включить нагрев образца.
5. Выключить нагрев образца при достижении перепада температур 60°C (разности показаний датчиков температуры 9 и 10).
6. Записать показания датчиков температуры 9, 10 (данные выводятся на экран панели оператора) в зависимости от времени с шагом 1 мин. Пример полученных зависимостей представлен на рисунке 8.3.
7. Выключить установку.

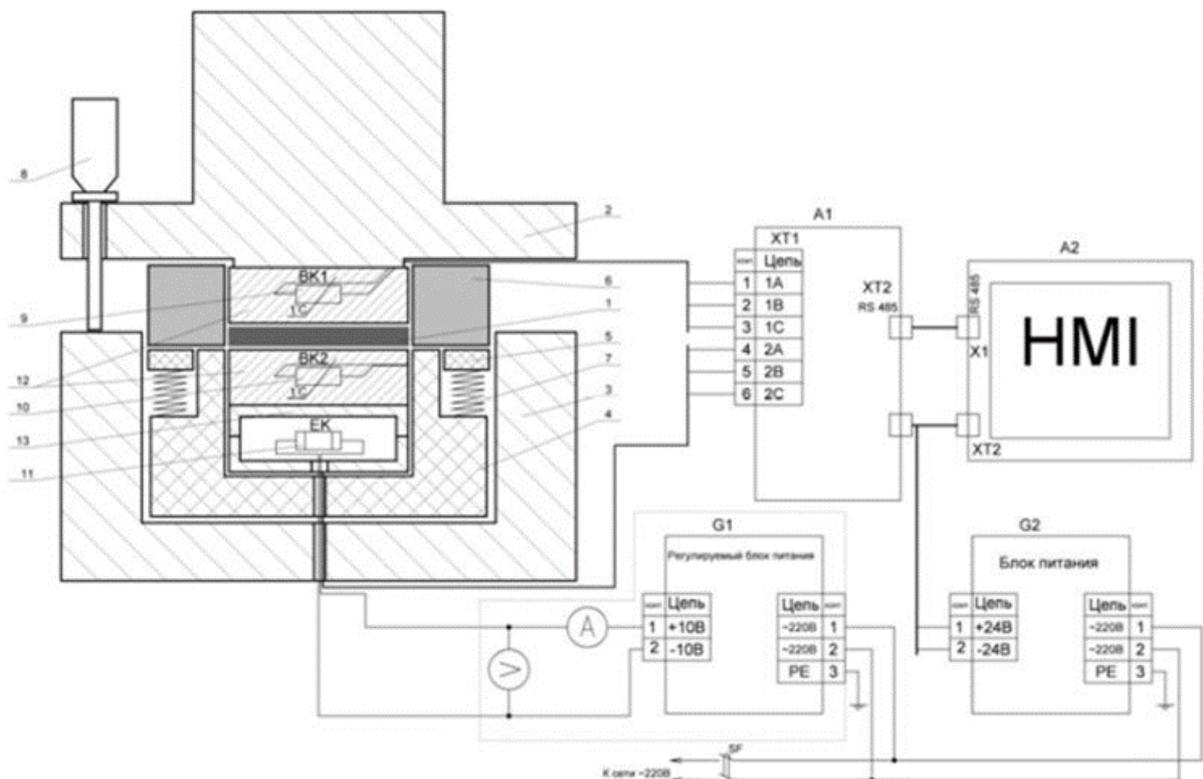


Рисунок 8.2 – Установка для определения теплозащитных свойств материалов:
 1 – исследуемый образец; 2 – верхняя крышка корпуса; 3 – нижняя крышка корпуса; 4 – термоизоляционный стакан; 5 – термоизоляционная прокладка; 6 – теплоизолирующее боковое кольцо; 7 – фиксирующая пружина; 8 – измеритель-регулятор зазора (микрометр); 9 – датчик температуры внешней поверхности; 10 – датчик температуры внутренней поверхности (со стороны нагревателя); 11 – нагреватель; 12 – термоусредняющая пластина с конструктивом для крепления датчиков температуры (4 штуки в каждом)



Рисунок 8.3 – График изменения температуры пластины от времени нагрева

8. Определить тепловое сопротивление R , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ по формуле:

$$R = \frac{1}{\varphi \left(\left(A + \frac{1}{3} C \gamma \delta \right) m - K \right)}, \quad (8.7)$$

где $\varphi = 0,6$ – коэффициент рассеяния; A – постоянная прибора, характеризующая теплоемкость сердечника, площадь его поперечного сечения и теплоемкость теплоизоляционного слоя; $K = 2,9$ – постоянная прибора, характеризующая теплопередачу теплоизоляционного слоя; C – удельная теплоемкость пакета, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}$; γ – объемная масса образца, $\text{кг}/\text{м}^3$; δ – толщина образца, м ; m – температура охлаждения сердечника, $^\circ\text{С}$.

9. Определить температуру охлаждения m по формуле:

$$m = \frac{\ln \theta_1 - \ln \theta_2}{\Delta \tau}, \quad (8.8)$$

где θ_1, θ_2 – значения температуры внутренней поверхности образца на границах заданного интервала перепада температур, измеренные датчиком температуры $10, ^\circ\text{С}$; $\Delta \tau$ – время остывания пластины прибора в заданном интервале перепадов температур (определяют по графику), с .

10. Определить постоянную прибора A по формуле:

$$A = \frac{\left(C_c + \frac{1}{3} C_{из} \right)}{F_c}, \quad (8.9)$$

где C_c – полная теплоемкость сердечника с учетом вмонтированной в него термомпары, $\text{Дж}/\text{кг}$; $C_{из}$ – полная теплоемкость теплозащитной оболочки сердечника, $\text{Дж}/\text{кг}$; F_c – площадь рабочей поверхности сердечника, м^2 .

11. Определить коэффициент теплопроводности λ , $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ по формуле:

$$\lambda = \varphi \delta \left(\left(A + \frac{1}{3} C \gamma \delta \right) m - K \right). \quad (8.10)$$

Оформление и содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Описание используемого оборудования.
3. Методика проведения эксперимента.
4. Полученные результаты.
5. Выводы

Контрольные вопросы:

1. Какова физическая сущность процесса передачи тепла путем теплопроводности для твердых, жидких и газообразных веществ?

2. Назовите определение стационарного и нестационарного температурного поля.

3. Каков физический смысл коэффициента теплопроводности? Зависимость коэффициента теплопроводности от физических характеристик материалов. Какие материалы называют теплоизоляционным?

4. Напишите дифференциальное уравнение теплопроводности.

5. Что представляет собой коэффициент температуропроводности?

Лабораторная работа 9

Исследование бесконтактного термометра

Цель работы: научить проводить измерения температуры при помощи бесконтактного термометра (пирометра) AT-IR550.

Теоретические сведения

Пирометр – прибор для бесконтактного измерения температуры тел. Принцип действия основан на измерении мощности теплового излучения объекта преимущественно в диапазонах инфракрасного излучения и видимого света [9].

Тепловым излучением называется электромагнитное излучение тел, которое обусловлено хаотическим тепловым движением атомов и молекул. Поток энергии и спектральный состав теплового излучения зависит от температуры, химической природы и агрегатного состояния нагретого тела.

Область спектра электромагнитных волн, соответствующую тепловому излучению, условно можно разделить на следующие спектральные диапазоны: ультрафиолетовый (УФ) – 0,20–0,38 мкм, видимый – 0,38–0,78 мкм и три инфракрасных (ИК): ближний – 0,78–2,5 мкм, средний – 2,5–25 мкм и дальний – 25–1000 мкм.

Принцип действия инфракрасного термометра основан на измерении амплитуды электромагнитного излучения от объекта в инфракрасной части спектра и последующем пересчете измеренного значения в мощность теплового излучения.

Главные условия при измерениях пирометром:

- поверхность, температура которой измеряется, должна находиться в прямой видимости;
- между пирометром и объектом не должно быть пара, пыли, тумана и т.д.;
- расстояние между пирометром и объектом должно быть таким, чтобы в диаметр измеряемой области попадал только объект измерения.

Коэффициент излучения тела (степень черноты) – ε отображает отношение энергии теплового излучения тела, к излучению «абсолютно черного тела» при той же температуре. Коэффициент излучения абсолютно черного тела $\varepsilon = 1$. Иными словами, коэффициент излучения отображает способность объекта поглощать и излучать ИК-энергию.

Если пользователь пирометром установил коэффициент, значение которого превышает действительное значение, то значение температуры, полученное пирометром, будет ниже реального, при условии, что температура объекта выше температуры окружающей среды. Чем ниже коэффициент излучения, тем выше отражательная способность объекта, которая, к слову, так же негативно влияет на достоверность результатов измерений. Коэффициент излучения различных материалов указан в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Коэффициент излучения различных материалов

Вещество	Коэффициент излучения
Бетон	0,70–0,75
Бумага	0,8–0,94
Вода	0,92–0,98
Керамика	0,9–0,94
Кожа	0,75–0,80
Краска	0,9–0,98
Красный кирпич	0,75–0,90
Окисленная медь	0,7–0,8
Окисленная стальная поверхность	0,8–0,9
Окисленное железо	0,78–0,82
Окисленный алюминий	0,7–0,8
Оцинкованное железо	0,3
Песок	0,8–0,9
Пластмасса	0,8–0,95
Полированный металл	0,1
Стекло	0,9–0,95

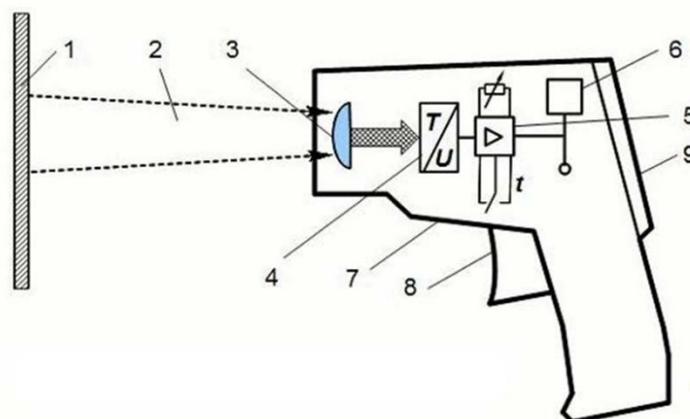


Рисунок 9.1 – Конструкция инфракрасного пирометра:

- 1 – поверхность измеряемого объекта, 2 – тепловое излучение от объекта,
 3 – оптическая система инфракрасного термометра, 4 – датчик-преобразователь, 5 – электронный преобразователь, 6 – счётное устройство,
 7 – корпус пирометра, 8 – курок-кнопка, 9 – дисплей

ИК термометр AT-IR550 (рис. 9.2) предназначен для измерения температур поверхности различных предметов. Может использоваться без прямого контакта с горячими, опасными или трудно достигаемыми объектами для быстрого и безопасного проведения измерений.

Большинство органических веществ, окрашенных или окисленных поверхностей, имеют коэффициент излучения около 0,95 (предустановленно в приборе). При измерении температуры блестящих или полированных металлических поверхностей возможны ошибки измерения. Во избежание этого рекомендуется покрыть исследуемую поверхность клейкой лентой или тонким ров-

ным слоем черной краски. Измерения следует проводить, когда температура липкой ленты или краски сравнивается с температурой исследуемого объекта.

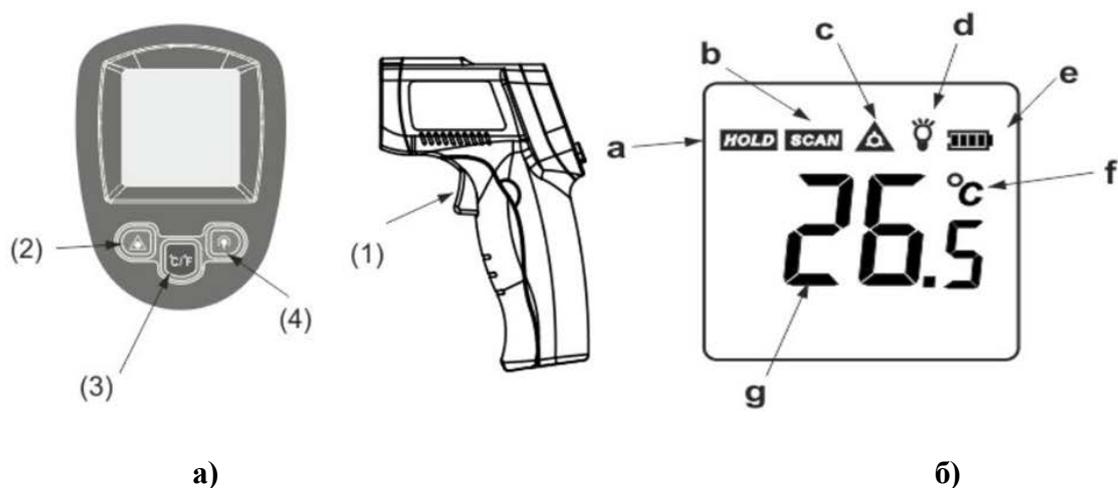


Рисунок 9.2 – Конструкция пирометра:

а – кнопки прибора; б – жк-дисплей прибора; а) значок удержания данных; б) значок измерения; с) значок «лазер включен»; д) значок подсветки; е) значок батареи; ф) единица измерения температуры; г) значение температуры

При нажатой кнопке пуска на дисплее отображается значение со значком SCAN, при отпущенной – со значком HOLD в течение примерно 7 секунд. Через 7 секунд прибор автоматически выключится. На термометре имеется также кнопка включения/выключения лазера (2), кнопка переключения единицы измерения – градусы Цельсия/Фаренгейта (3), а также кнопка включения/выключения подсветки (4). Когда подсветка включена, любые измерения будут включать подсветку на 7 секунд.

Таблица 9.2 – Технические характеристики термометра AT-IR550

Параметр	Значение
Диапазон измерения	-50 ~ 550 °C
Точность	
-0 ~ 550 °C	±1,5 °C
-50 ~ 0 °C	±3 °C
Разрешение дисплея	0,1 °C
Воспроизводимость	1 % показаний или 1 °C
Время срабатывания	500 мс (95 %)
Спектральный диапазон	8–14 мкм (um)
Коэффициент излучения	0,95 предустановлен
Отношение расстояния к размеру пятна	12:1
Рабочая относительная влажность	10 ~ 95 % при отсутствии конденсации до 30 °C
Диапазон рабочих температур	0 ~ 40 °C

Ход работы:

1. Включить бесконтактный термометр AT-IR550.
2. Определить текущую температуру воздуха в помещении с помощью ртутного термометра.
3. Измерить температуру исследуемых образцов при помощи бесконтактного термометра путем наведения курсора на центр исследуемого объекта. Измерения проводить на расстоянии 300 мм (рис. 9.3). Чем меньше объект, тем ближе к нему следует располагать прибор. Когда важна точность, необходимо располагать прибор таким образом, чтобы размер исследуемого предмета минимум в два раза превышал размер пятна.

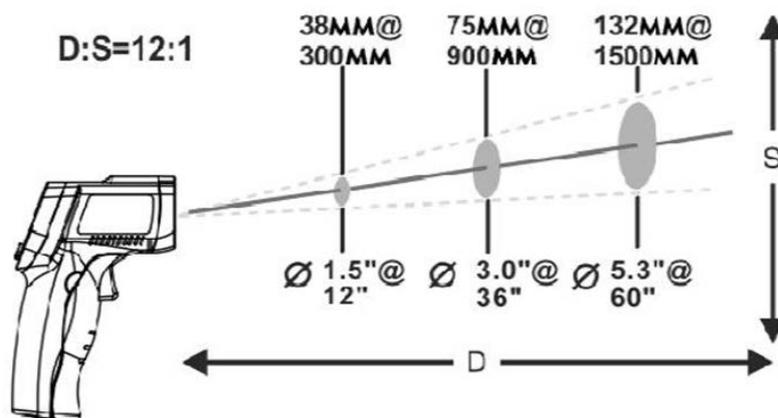


Рисунок 9.3 – Зависимость размера пятна от расстояния измерения

4. Повторить измерения для каждого исследуемого образца не менее 10 раз. Рассчитать среднее значение температуры T_{CP} , доверительный интервал ΔT . Сравнить полученные данные с результатами измерения ртутным термометром.
5. Поместить образцы в сушильный шкаф. Установить термометр для контроля температуры. Нагреть образцы до температуры 50–55 °С.
6. Измерить температуру в нагретом сушильном шкафу с помощью ртутного термометра. Повторить измерения в пункте 4.
7. Выключить сушильный шкаф.
8. Выключить бесконтактный термометр.
9. Рассчитать основные метрологические характеристики для полученных значений:

Среднее арифметическое значение:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (9.1)$$

где X_i – расстояние срабатывания, мм; n – количество измерений.

Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (9.2)$$

Доверительный интервал:

$$\Delta = \sigma t = 2.23\sigma, \quad (9.3)$$

где $t = 2,23$ – критерий Стьюдента для 10 измерений, при точности 0,95.

10. Записать полученные результаты в виде:

$$L_{\text{ср}} = \bar{X} \pm \Delta. \quad (9.4)$$

10. По результатам измерений сделать вывод о точности измерения температуры бесконтактным способом, влияние оптических свойств материала на результаты измерения.

Оформление и содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.
2. Описание используемого оборудования.
3. Методика проведения эксперимента.
4. Полученные результаты.
5. Выводы

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение пирометра.
2. Перечислите методы измерения температуры, основанные на законах излучения нагретых тел.
3. Как зависит область спектра электромагнитных волн, соответствующую тепловому излучению, от температуры объекта?
4. Объясните влияние оптических свойств объектов на результаты измерения температуры бесконтактным методом.
5. Назовите достоинства и недостатки бесконтактного термометра АТ-IR550.

Лабораторная работа 10

Исследование датчика расхода

Цель работы: изучить принцип действия датчика расхода и построить его рабочие характеристики.

Теоретические сведения

Расход – это количество вещества, протекающее через сечение в единицу времени. Приборы, которые измеряют расход вещества, называются расходомеры [6].

Существующие расходомеры по принципу работы можно разделить на три группы (табл. 10.1).

Таблица 10.1 – Классификация расходомеров

Гидродинамические методы	Физические методы	Особые методы
переменного перепада давления; переменного уровня; обтекания; вихревые; парциальные	тепловые; электромагнитные; акустические; оптические; ядерно-магнитные; ионизационные	меточные; корреляционные; концентрационные

Наибольшее применение в промышленности получили расходомеры, основанные на измерении переменного перепада давления. Расходомеры переменного перепада давления основаны на зависимости от расхода перепада давления, создаваемого устройством, которое установлено в трубопроводе.

В состав расходомера входят (рис. 10.1): преобразователь расхода, создающий перепад давления; дифференциальный манометр, измеряющий этот перепад, и соединительные (импульсные) трубки между преобразователем и дифманометром. При необходимости передать показания расходомера на значительное расстояние к указанным трем элементам добавляется вторичный преобразователь, преобразующий перемещение подвижного элемента дифманометра в электрический сигнал, который по линии связи передаётся к вторичному измерительному прибору. Если первичный дифманометр (или вторичный измерительный прибор) имеет интегратор, то такой прибор измеряет не только расход, но и количество прошедшего вещества.

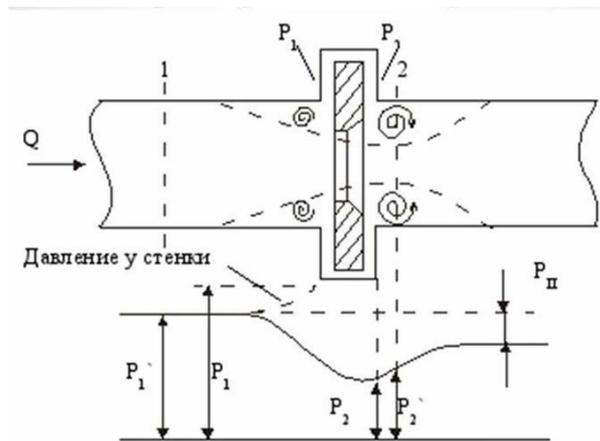


Рисунок 10.1 – Конструкция расходомера переменного перепада давления:
 1 – преобразователь расхода, создающий перепад давления;
 2 – дифференциальный манометр

Разность между давлениями потока до и после сужающего потока называют перепадом давления. Перепад давления будет тем больше, чем больше скорость потока, то есть, чем больше расход вещества и является мерой расхода воздуха, протекающего через трубопровод.

Зависимость между перепадом давления и расходом газа выражается следующей формулой:

$$V = k \sqrt{\Delta p} \quad (10.1)$$

где V – расход газа; Δp – перепад давления; k – коэффициент, учитывающий конструкцию диафрагмы.

Значение коэффициента k зависит от соотношения диаметров отверстия диафрагмы и трубопровода, плотности воздуха.

В данной лабораторной работе в качестве объекта исследования используется датчик расхода TP-BG-SFE 3, характеристики которого представлены в таблице 10.2.

Схема подключения датчика расхода показана на рисунке 10.2.

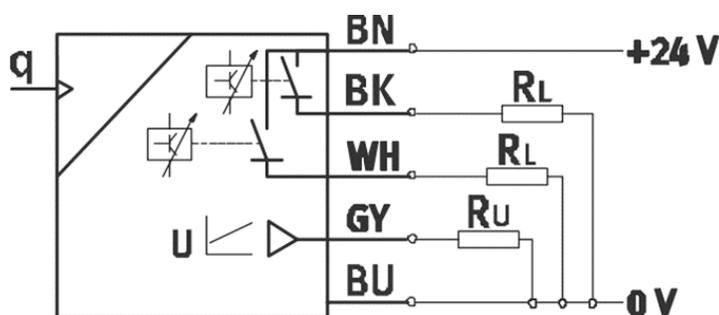


Рисунок 10.2 – Схема подключения датчика расхода:
 BN – питание 24 В; BK, WH – дискретные сигналы; GY – аналоговый сигнал;
 BU – питание 0 В

Таблица 10.2 – Технические характеристики датчика расхода

Параметр	Значение
Напряжение	12 ... 24 В
Диапазон измеряемого расхода	0,05 ... 50 л/мин
Диапазон температур	0 ... 50 °С
Аналоговый выход	1 ... 5 В
Рабочее давление	– 0,7 ... + 7 бар
Выходной сигнал	0–10 В
Точность	8 % от измеряемого диапазона

Лабораторная установка состоит из основных компонентов:

- двух пневматических датчиков давления;
- регулируемого дросселя с обратным клапаном;
- аналого-цифрового модуля EasyPort;
- блока аналоговых сигналов;
- кабеля ввода-вывода SysLink;
- блока подготовки воздуха;
- коллектора;
- блока питания;
- компрессора.

Ход работы:

1. Подготовить стенд к работе.

2. Подключить датчики к блоку аналоговых сигналов (рис. 10.3). Красные провода датчиков подключаются к питанию 24 В на блок аналоговых сигналов, а синие провода – к 0 В. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q3 первого датчика давления 1В1, подключить на вход INPUT U – Y0 блока аналоговых сигналов. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q3 второго датчика давления 1В2, подключить на вход INPUT U – Y1 блока аналоговых сигналов. Красный провод, обозначающий аналоговый выход Q2 датчика расхода 1В3, подключить на вход INPUT U – Y3 блока аналоговых сигналов.

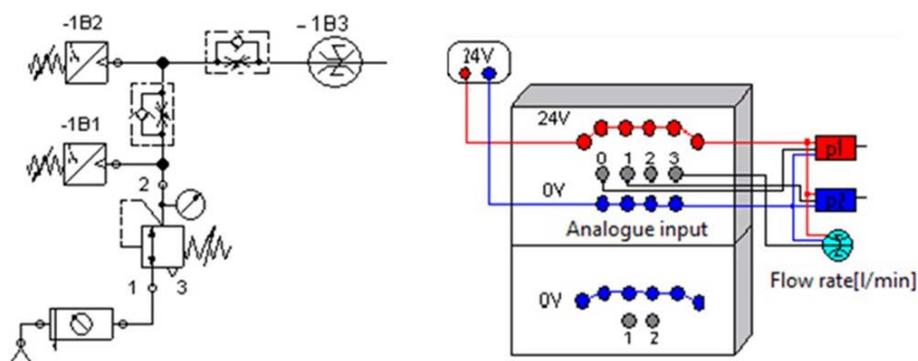


Рисунок 10.3 – Схема подключения датчиков в лабораторной установке

3. Соединить пневматические элементы через коллектор с помощью пневматических шлангов (рис. 10.4).

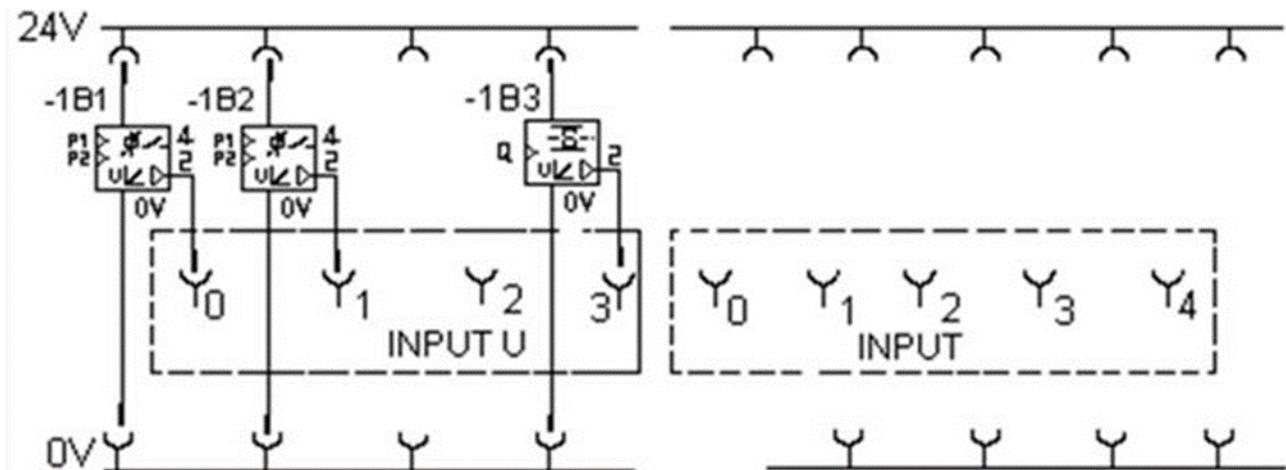


Рисунок 10.4 – Схема подключения электрических элементов к стенду

4. Для первого испытания по манометру блока подготовки воздуха установить значение давления питания $P = 6$ бар.

5. Регулировочный винт дросселя закрутить почти до упора так, чтобы поток воздуха достиг минимума.

6. Нажать кнопку включения на источнике питания.

7. Запустить программу FluidLab-P. Открыть лабораторную работу [1.3] Throttle curve.

8. Начать процесс измерения давления нажатием на кнопку Start в программе FluidLab-P (рис. 10.5).

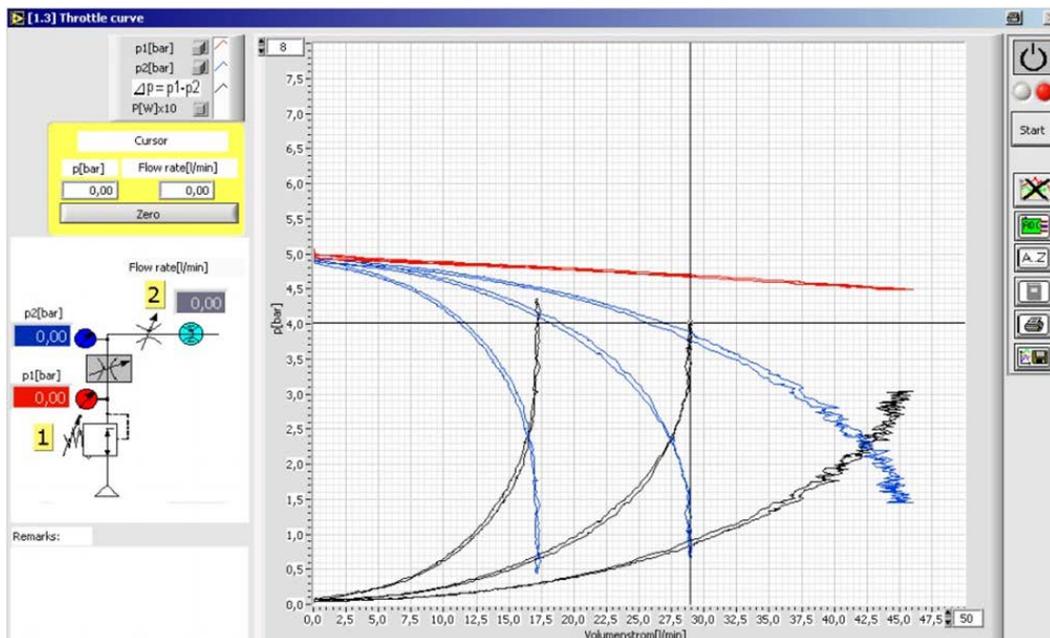


Рисунок 10.5 – Интерфейс лабораторной работы работу [1.3] Throttle curve

9. Регулировочный винт дросселя с обратным клапаном плавно открыть (обратное давление уменьшается). Когда регулировочный винт дросселя будет откручен до упора, снова закрыть дроссель, плавно крутя регулировочный винт в обратную сторону. Следить за построением графической характеристики в программе FluidLab-P зависимости показаний давления по каждому датчику давления с дисплеем от показаний датчика расхода.

10. Сохранить изображение измеренного значения давления в формате .jpeg из программы FluidLab-P можно, нажав на кнопку сохранения.

11. Повторить пункты 9–10 измерений, установив давление блока подготовки воздуха на уровне 5 бар, 4 бар, 3 бар.

12. Проанализировать графические характеристики показаний давления по каждому датчику в отдельности – кривые P1 и P2. Обратит внимание на их разницу – кривая ΔP .

13. Проанализировать график датчика расхода от мощности, потребляемой дросселем (ограничителем) – кривая $P(W) \cdot 10$. Для определения значений давления и расхода в определенной точке использовать курсор. Координаты курсора указываются в желтом поле слева. Курсор возвращается в исходное положение при нажатии на кнопку Zero.

14. Завершить измерения нажатием на кнопку Stop в программе FluidLab-P.

15. Закрыть клапан блока подготовки воздуха.

16. Выключить блок питания.

17. Разобрать исследованную систему.

Оформление и содержание отчета:

1. Цель и задачи работы.

2. Описание используемого оборудования.

3. Методика проведения эксперимента.

4. Полученные результаты, графики зависимостей в отдельности для установленных давлений 3–6 бар $P_1 = f(Q)$, $P_2 = f(Q)$, $\Delta P = f(Q)$, $P(W) \cdot 10 = f(Q)$.

5. Выводы

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается принцип работы датчика расхода?

2. Как влияет изменение давления на показания расхода?

3. На какие измеряемые параметры оказывает влияние дроссель в данной лабораторной установке?

4. Какие преимущества обеспечиваются с применением датчика расхода?

5. Какие технические характеристики датчика расхода являются основными?

Список используемых источников

1. Кузнецов, А. А. Метрология, методы и приборы технических измерений: методические указания к выполнению расчетно-графических работ / А. А. Кузнецов. – Витебск : Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2014. – 49 с.
2. Богдан, П. С. Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Элементы приборов» / П. С. Богдан – Минск, БНТУ 2020. – 293 с.
3. Ковалев, В. А. Метрология и электроизмерительная техника. Лабораторный практикум : учебно-методическое пособие / В. А. Ковалев, И. И. Скочек, М. И. Булко. – Минск : БГАТУ, 2021. – 172 с.
4. Наумов, А. А. Измерение мощности в цепях постоянного и переменного тока: методические указания к лабораторной работе / А. А. Наумов, С. В. Баландина, Н. А. Гарифуллина. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – 12 с.
5. Хорунжий, И. А. Изучение электронного осциллографа: методические указания к выполнению лабораторной работы / И. А. Хорунжий, Н. Г. Блинкова, Т. С. Кононова, А. В. Федотенко. – Минск : БНТУ, 2012. – 28 с.
6. Рожков, В. И. Метрология, технические измерения и автоматизация: практикум по проведению лабораторных работ на лабораторно-исследовательском стенде ДД-ИПД-011-9ЛР/ В. И. Рожков, М. И. Щагина; ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб, 2020, Часть 1. – 45 с.
7. Кузнецов, А. А. Автоматика и автоматизация производственных процессов: лабораторный практикум для студентов / А. А. Кузнецов. – Витебск : Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2014. – 75 с.
8. Егоров, В.И. Системы термостатирования. Методические указания к лабораторным работам / В. И. Егоров, В. А. Кораблев, А. В. Шарков. – СПб : СПб ГУ ИТМО, 2006. – 51 с.
9. Климович, С. В. Приборы и техника специальных измерений : пособие для студентов / С. В. Климович, И. В. Янцевич. – Минск: БНТУ, 2018. – 91 с.

Учебное издание

**МЕТРОЛОГИЯ
(В ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ)**

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Составители:

Мурычева Виктория Владимировна
Леонов Владимир Викторович
Кузнецов Андрей Александрович

Редактор *Р.А. Никифорова*
Корректор *А.С. Прокопюк*
Компьютерная верстка *В.В. Мурычева*

Подписано к печати 07.05.2024. Формат 60x90¹/₁₆. Усл. печ. листов 3,5.
Уч.-изд. листов 4,4. Тираж 30 экз. Заказ № 94.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.