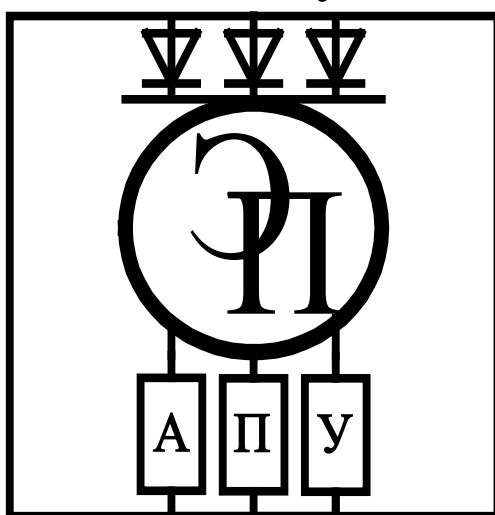


ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация
промышленных установок»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА В МЕХАТРОНИКЕ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
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 университета

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, ст. преподаватель И. Д. Камчицкая

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» дневной формы обучения. Изложена методика исследования основных информационных устройств, применяемых в робототехнических системах.

Учебно-методическое издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА В МЕХАТРОНИКЕ

Ответственный за выпуск	Г. С. Леневский
Технический редактор	А. А. Подошевка
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.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2018



Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Исследование погрешностей измерительного прибора.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Исследование спектров периодических сигналов.....	11
3 Лабораторная работа № 3. Исследование цифровых схем мехатроники.....	15
4 Лабораторная работа № 4. Исследование импедансов электронных элементов.....	18
5 Лабораторная работа № 5. Исследование датчиков температуры	23
6 Лабораторная работа № 6. Исследование резистивных датчиков положения.....	30
7 Лабораторная работа № 7. Исследование датчиков детонации.....	35
8 Лабораторная работа № 8. Исследование датчиков скорости	40
Список литературы.....	47



Введение

Лабораторные работы по дисциплине «Информационные устройства в мехатронике» проводятся для изучения особенностей построения и электрических характеристик датчиков и элементов сопряжения, используемых в информационных устройствах и системах мехатроники. В ходе лабораторных занятий закладываются навыки научного анализа и обобщения результатов экспериментальных исследований с целью углубления и закрепления теоретических знаний, полученных студентами на лекциях.

На лабораторных занятиях студентам прививаются практические навыки работы с лабораторным оборудованием, измерительной и вычислительной техникой.

К выполнению лабораторных работ студенты допускаются после ознакомления с правилами и инструкцией по технике безопасности и проведения инструктажа по безопасным методам работы на ЭВМ с оформлением соответствующей записи в журнале.

Для получения допуска к очередным занятиям студенты предварительно изучают содержание лабораторной работы, рекомендации к выполнению задания и представляют законченный отчет по предыдущей работе.

Оформление отчетов по лабораторным работам выполняется в соответствии с действующим Положением Белорусско-Российского университета П БРУ 1.001–2012 каждым студентом индивидуально.

1 Лабораторная работа № 1. Исследование погрешностей измерительного прибора

Цель работы: овладеть методикой определения основной погрешности измерительных приборов на примере аналогового вольтметра постоянного тока; получить навыки проведения многократных измерений и обработки полученных данных.

Задание

1 Оценить систематическую и случайную составляющие основной погрешности и суммарную погрешность аналогового вольтметра.

2 Сравнить суммарную погрешность, полученную экспериментально, с нормируемым значением основной погрешности аналогового вольтметра.

1.1 Описание экспериментальной лабораторной установки

Используемые приборы: комбинированный прибор (тестер) типа Ц4360 (исследуемый вольтметр); вольтметр универсальный цифровой типа В7-27А (эталонный вольтметр); источник регулируемого постоянного напряжения от 0 до 5 В.

Технические характеристики приборов представлены в таблице 1.1, схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики используемых вольтметров

Характеристика	Аналоговый вольтметр Ц4360	Цифровой вольтметр В7-27А
Верхние пределы измерения, В	15	15
Класс точности	1,5	0,02/0,01



Рисунок 1.1 – Схема для исследования погрешностей вольтметра

1.2 Рекомендации к выполнению задания

1.2.1 Расчет областей значений основной погрешности вольтметров.

Построить области допускаемых основных абсолютных погрешностей аналогового и цифрового вольтметров (см. таблицу 1.1) в диапазоне от 0 до 15 В.

Для аналогового вольтметра основную погрешность нормируют в форме **предельно допустимой приведенной** погрешности числом γ , выраженным в процентах. Число γ , записанное без указания процентов, определяет класс точности такого вольтметра. Область значений допускаемой **основной абсолютной** погрешности данного прибора можно определить по формуле

$$\Delta = \frac{\pm \gamma}{100} \cdot U_K = \pm \alpha, \quad (1.1)$$

где U_K – значение установленного предела измерения.

Видно, что эта погрешность не зависит от значения измеряемого напряжения, т. к. имеет аддитивную составляющую.

Основную погрешность цифрового вольтметра нормируют в форме предельно допустимой **относительной** погрешности δ , %, по двучленной формуле

$$\delta = \pm \left[c + d \cdot \left(\frac{U_K}{U} - 1 \right) \right]. \quad (1.2)$$

Значения коэффициентов c , %, и d , %, записанные через косую черту (c/d), определяют класс точности цифрового вольтметра, например, $c/d = 0,02/0,01$.

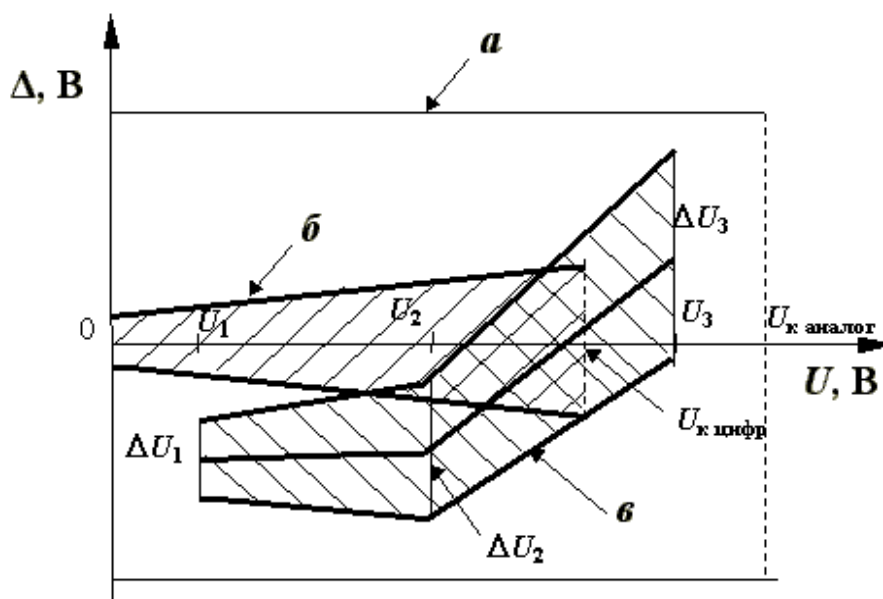
Область допускаемой основной **абсолютной** погрешности такого вольтметра можно вычислить по формуле

$$\delta = \pm \left(\frac{d \cdot U_K}{100} + \frac{c - d}{100} \cdot U \right), \quad (1.3)$$

где $U = [0, U_K]$.

Данная погрешность растет с увеличением измеряемого напряжения, т. е. имеет, кроме аддитивной, еще и мультипликативную составляющую.

Пример построения области допускаемых основных абсолютных погрешностей аналогового и цифрового вольтметров представлен на рисунке 1.2.



a – нормируемая для аналогового прибора; b – нормируемая для цифрового прибора;
 δ – полученная экспериментально для аналогового прибора по п. 1.2.1

Рисунок 1.2 – Области значений абсолютной погрешности

1.2.2 Оценка систематической и случайной составляющих основной погрешности исследуемого вольтметра.

1.2.2.1 Исследование провести для трех точек установленного на исследуемом вольтметре диапазона измерения 15 В – для трех значений напряжения ΔU_m , $m = 1, 2, 3$: $U_1 = 1 \dots 5$ В – в начале шкалы, $U_2 = 6 \dots 9$ В – в середине, $U_3 = 10 \dots 14$ В – в конце. По результатам измерений определить основную погрешность аналогового прибора

$$\Delta U_m, m = 1, 2, 3. \quad (1.4)$$

1.2.2.2 Включить питание источника постоянного напряжения и цифрового вольтметра. Проверить установку нуля аналогового и цифрового вольтметров.

1.2.2.3 Установить требуемые пределы измерения U_k на обоих вольтметрах.

1.2.2.4 Выбрать отметку на шкале исследуемого вольтметра, соответствующую значению напряжения U_1 . Регулируя напряжение источника, установить показание, равное U_1 , измерить действительное значение напряжения источника по показаниям эталонного вольтметра U_{1i} и записать в таблицу 1.2 (столбец 2). Всего выполнить n измерений действительных значений напряжения U_{1i} , $i = 1, \dots, n$ ($6 \geq n \geq 8$), каждый раз заново устанавливая показания исследуемого вольтметра на выбранную отметку шкалы.

1.2.2.5 Повторить измерения п. 1.2.2.4 для выбранных значений U_2 и U_3 . Измеренные действительные значения U_{2i} и U_{3i} , $i = 1, \dots, n$ записать в 6 и 10-й столбцы таблицы 1.2 соответственно.

Таблица 1.2 – Результаты измерений и расчета составляющих основной погрешности исследуемого вольтметра

Номер измерения	$U_1 = B$				$U_2 = B$				$U_3 = B$			
	U_{1i}	Δ_{1i}	$\dot{\Delta}_{1i}$	$\dot{\Delta}_{1i}^2$	U_{2i}	Δ_{2i}	$\dot{\Delta}_{2i}$	$\dot{\Delta}_{2i}^2$	U_{3i}	Δ_{3i}	$\dot{\Delta}_{3i}$	$\dot{\Delta}_{3i}^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1												
2												
...												
i												
n												
Расчетное значение	$\widetilde{\Delta}_{c1} = \dots B$				$\widetilde{\Delta}_{c2} = \dots B$				$\widetilde{\Delta}_{c3} = \dots B$			
	$\widetilde{\sigma}_1 = \dots B$				$\widetilde{\sigma}_2 = \dots B$				$\widetilde{\sigma}_3 = \dots B$			
	$P_{дог} = 0,9$				$n =$				$t =$			
	$\Delta_{дог1} = \pm \dots B$				$\Delta_{дог2} = \pm \dots B$				$\Delta_{дог3} = \pm \dots B$			

1.2.2.6 Вычислить для каждого значения напряжений U_1, U_2, U_3 следующие величины:

– отклонения действительного значения напряжения от значения напряжения, соответствующего выбранной отметке шкалы:

$$\Delta_{mi} = U_m - U_{mi}, \quad m = 1, 2, 3, \quad i = 1, \dots, n. \quad (1.5)$$

Записать их значения в 3, 7 и 11-й столбцы таблицы 1.2, внизу каждого столбца поместить алгебраическую сумму $\sum_{i=1}^n \Delta_{mi}$:

– оценку систематической составляющей погрешности $\widetilde{\Delta}_{cm}$, вычислив ее значение как среднее значение погрешности $\widetilde{\Delta}_m$:

$$\widetilde{\Delta}_{cm} = \widetilde{\Delta}_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_{mi}; \quad (1.6)$$

– случайные составляющие погрешности каждого измерения:

$$\dot{\Delta}_{mi} = \Delta_{mi} - \widetilde{\Delta}_{cm} \quad (1.7)$$

и записать их значения в 4, 8 и 12-й столбцы таблицы 1.2;

– оценку среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности (среднюю квадратическую погрешность) однократного измерения для трех выбранных отметок шкалы исследуемого вольтметра:

$$\tilde{\sigma}_m = \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_{mi}^2 \right]^{1/2}, \quad m = 1, 2, 3. \quad (1.8)$$

Для этого найти квадраты случайных составляющих Δ_{mi}^2 , $m = 1, 2, 3$, $i = 1, \dots, n$. Полученные значения занести в 5, 9 и 13-й столбцы таблицы 1.2. Найденные значения оценок $\tilde{\sigma}_1$, $\tilde{\sigma}_2$ и $\tilde{\sigma}_3$ внести в таблицу 1.2;

– доверительные интервалы случайной погрешности однократного измерения в предположении, что закон распределения этой случайной погрешности нормальный:

$$\Delta_{\text{дов.}m} = t \cdot \tilde{\sigma}_m, \quad m = 1, 2, 3, \quad (1.9)$$

где t – коэффициент Стьюдента, значение которого зависит от заданного значения доверительной вероятности $P_{\text{дов}}$, числа параллельных измерений n , числа проведенных измерений m . Значение t вычисляется по числу степеней свободы f_{cm} :

$$f_{cm} = (n-1) \cdot m. \quad (1.10)$$

При обработке результатов простых технических измерений доверительную вероятность обычно выбирают в пределах $P_{\text{дов}} = 0,9$.

Значения t принять из таблицы 1.3.

Таблица 1.3 – Значение t -критерия Стьюдента

f_{cm}	3	6	9	12	15	18	21	24	29	∞
t	3,18	2,45	2,26	2,18	2,13	2,1	2,08	2,06	2,04	1,96

1.2.3 Сравнение основной погрешности исследуемого вольтметра с ее нормированным значением.

1.2.3.1 Для каждого из выбранных напряжений U_1 , U_2 , U_3 вычислить оценку суммарной основной абсолютной погрешности вольтметра как

$$\Delta U_m = \tilde{\Delta}_{cm} \pm \Delta_{\text{дов.}m}, \quad m = 1, 2, 3. \quad (1.11)$$

Значения Δ_{cm} и $\Delta_{\text{дов.}m}$ взять из таблицы 1.2.

1.2.3.2 На рисунке 1.2, построенном при выполнении п. 1.2.1, отобразить область значений основной погрешности ΔU_m , полученную экспериментально в точках шкалы U_1 , U_2 , U_3 :



$$\tilde{\Delta}_{cm} - \Delta_{\text{дов.}m} \leq \Delta U_m \leq \tilde{\Delta}_{cm} + \Delta_{\text{дов.}m}, \quad m = 1, 2, 3. \quad (1.12)$$

1.2.3.3 Сделать вывод о соответствии погрешности, полученной экспериментально, нормируемой погрешности исследуемого прибора. Если экспериментальные оценки погрешности выходят за границы нормируемой погрешности, сделать вывод, какая из составляющих суммарной погрешности (случайная или систематическая) обуславливает этот выход.

Содержание отчета

- 1 Номер и наименование лабораторной работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Задание.
- 4 Схема подключения приборов.
- 5 Заполненные таблицы 1.1–1.3 с заголовками.
- 6 Расчетные формулы с пояснениями.
- 7 Области значений абсолютных погрешностей (см. рисунок 1.2).
- 8 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Как оценить систематическую составляющую погрешности прибора?
- 2 Как оценить доверительный интервал случайной погрешности однократного измерения при заданной доверительной вероятности и нормальном законе распределения?
- 3 В каких случаях при определении доверительного интервала для случайной погрешности с нормальным законом распределения следует использовать распределение Стьюдента?
- 4 Как правильно представить результат измерения?
- 5 Перечислить основные нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
- 6 Каким образом нормируют погрешности средств измерений?
- 7 Что такое класс точности средств измерений? Какие существуют способы задания класса точности?
- 8 Каким образом можно оценить абсолютную погрешность результата измерений, если известен класс точности используемого прибора?

2 Лабораторная работа № 2. Исследование спектров периодических сигналов

Цель работы: изучить виды и спектры периодических сигналов, формируемых датчиками мехатронных устройств и систем; освоить методики расчета и измерения параметров сигналов во временной и частотной областях.

Задание

- 1 Рассчитать параметры первых восьми гармоник одностороннего спектра периодического сигнала.
- 2 Построить амплитудный и фазовый спектры заданного сигнала.
- 3 Исследовать спектр периодических прямоугольных импульсов.

2.1 Описание экспериментальной лабораторной установки

Стенд для исследования периодических сигналов представлен на рисунке 2.1. В качестве источника сигнала применяется генератор импульсов (ГИ). Рекомендуется при этом использовать синхронизацию ГИ и осциллографа, а также разветвитель измерительного стенда для одновременного подключения измерительных приборов.

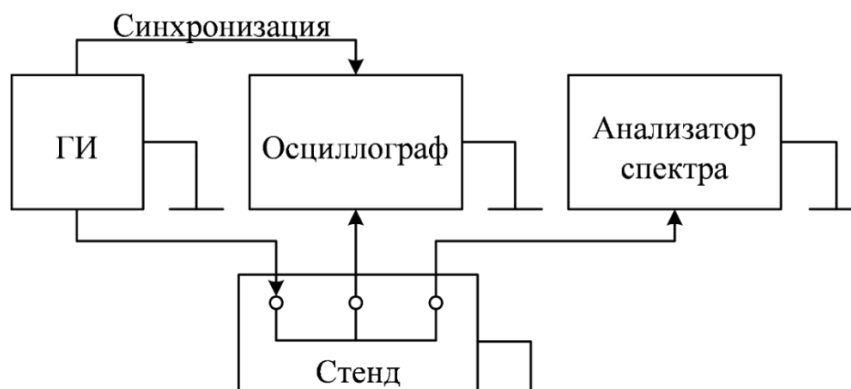


Рисунок 2.1 – Схема подключения приборов и измерительного стенда для наблюдения периодических прямоугольных импульсов и их спектра

2.2 Рекомендации к выполнению задания

2.2.1 Основные теоретические положения.

Сигналы, поступающие с датчиков, в большинстве случаев изменяются непрерывно во времени. Анализ таких сигналов во временной области не позволяет достаточно полно отразить работу системы или механизма. Это характерно для испытаний механических систем, где исследуются вибрация, скорость, ускорение и т. д.

На практике применяют частотный (спектральный) анализ вибрационного сигнала. По результатам спектрального анализа сигналов вибрации можно

обнаружить на раннем этапе зарождающиеся неисправности. Если временная реализация есть график во временной области, то спектр—это график в частотной области. Частота и время связаны друг с другом следующей зависимостью: *частота* = 1 / *время*.

Периодический сигнал $s_T(t)$ также можно представить в амплитудно-фазовой форме ряда Фурье:

$$s_T(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \cos(2\pi n F_1 t + \varphi_n),$$

где A_0 — постоянная составляющая сигнала,

$$A_0 = T - \frac{1}{T/2} = \frac{1}{T};$$

$$T \int_{-T/2}^{T/2} s_T(t) dt \quad T \cdot \int_0^T s_T(t) dt$$

A_n — амплитуда n -й гармоники периодического сигнала,

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2};$$

F_1 — частота первой гармоники, обратно пропорциональная периоду сигнала T ,

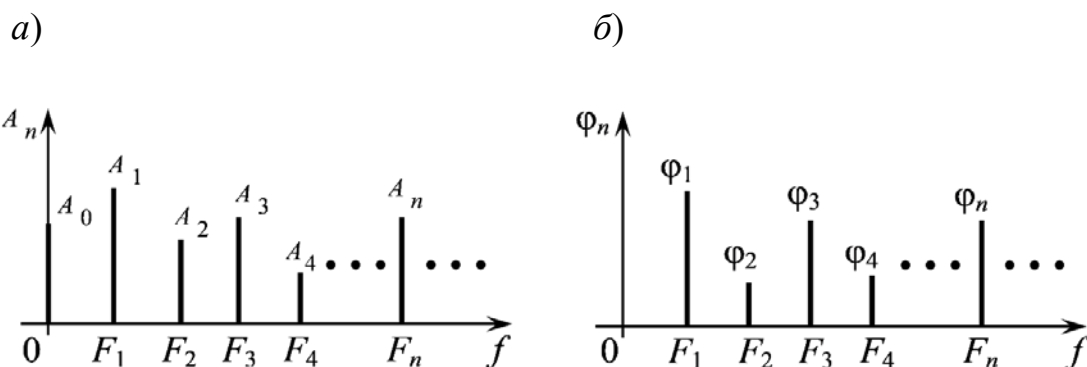
$$F_1 = 1/T;$$

nF_1 — частота n -й гармоники периодического сигнала;

φ_n — начальная фаза n -й гармоники периодического сигнала,

$$\varphi_n = \begin{cases} -\arctg \frac{b_n}{a_n}; & a_n > 0, \\ -\arctg \frac{b_n}{a_n} \pm \pi; & a_n < 0. \end{cases}$$

Зависимость амплитуд гармоник периодического сигнала от частоты называется односторонним амплитудным спектром, а зависимость начальной фазы гармоник от частоты — односторонним фазовым спектром сигнала. Обе зависимости определены для значений частоты $f = nF_1$, $n = 1, 2, \dots, \infty$. Общий вид этих зависимостей приведен на рисунке 2.2.



a – амплитудный спектр; b – фазовый спектр

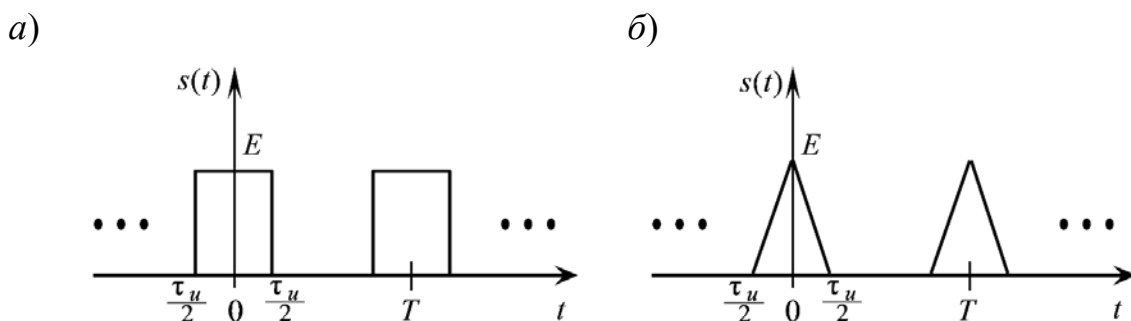
Рисунок 2.2 – Односторонний спектр периодического сигнала

2.2.2 Определение параметров одностороннего спектра периодического сигнала и построение амплитудного и фазового спектров заданного сигнала.

Для видов сигналов, указанных в таблице 2.1 и на рисунке 2.3, рассчитать параметры первых восьми гармоник одностороннего спектра периодического сигнала и построить амплитудный и фазовый спектры заданного сигнала.

Таблица 2.1 – Параметры периодических сигналов

Вид сигнала	Рисунок	E , В	T , мс	τ_u , мс
Прямоугольные импульсы	2,3, a	5	1	0,25
Треугольные импульсы	2,3, b	8	2	0,25



a – прямоугольные импульсы; b – треугольные импульсы

Рисунок 2.3 – Графическое представление периодических сигналов

2.2.3 Исследование спектра периодических прямоугольных импульсов.

Собрать схему подключения приборов и измерительного стенда для наблюдения периодических прямоугольных импульсов и их спектра в соответствии с рисунком 2.1.

Установить на генератор импульсов период повторения импульсов $T = 100$ мкс и длительность импульсов $\tau_u = 10$ мкс, амплитуду импульсов установить $A = 10$ В.

Получить осциллограмму и спектрограмму сигнала, занести полученные зависимости в отчет.

Установить на ГИ длительность импульсов $2\tau_u$. Занести полученную осциллограмму и спектрограмму в отчет.

Установить на ГИ период повторения импульсов $0,5T$, длительность импульсов τ_u . Занести полученную осциллограмму и спектрограмму в отчет.

Для всех экспериментов измерить по осциллограмме амплитуду импульсов A , период повторения T и длительность τ .

Для всех экспериментов произвести расчет скважности $q = T / \tau$, частоты повторения сигнала $F_1 = 1 / T$, ширины главного лепестка огибающей спектра $\Delta F = 1 / \tau$, значения постоянной составляющей сигнала $A_0 = A\tau / T$.

Для всех экспериментов на спектрограмме указать значения частот гармоник спектра и соответствующее значение постоянной составляющей A_0 , найденное выше.

Содержание отчета

- 1 Номер и наименование лабораторной работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Задание.
- 4 Схема подключения приборов и измерительного стенда.
- 5 Графическое представление периодических сигналов (прямоугольного, треугольного импульсов) во временной области.
- 6 Расчетные формулы с пояснениями для определения амплитудного и фазового спектров.
- 7 Графическое представление периодических сигналов (прямоугольного, треугольного импульсов) в частотной области (амплитудного и фазового спектров), полученных по результатам расчетов и экспериментально.
- 8 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Как выглядит спектр периодических прямоугольных импульсов?
- 2 Сколько гармоник в спектре периодических прямоугольных импульсов?
- 3 Как частота первой гармоники в спектре сигнала связана с частотой повторения импульсов?
- 4 Как длительность прямоугольного импульса связана с шириной главного лепестка огибающей спектра периодических прямоугольных импульсов?
- 5 Что такое скважность?
- 6 Чем определяется число гармоник в пределах ширины главного лепестка огибающей спектра периодических прямоугольных импульсов?
- 7 Что такое постоянная составляющая?
- 8 Как определить постоянную составляющую во временной и частотной областях?



3 Лабораторная работа № 3. Исследование цифровых схем мехатроники

Цель работы: изучить электронные устройства мехатроники, формирующие цифровые сигналы; изучить и исследовать работу преобразователя «перемещение – частота».

Задание

- 1 Изучить работу импульсного генератора (таймера), собранного на микросхеме NE555N (КР1006ВИ1).
- 2 Изучить работу преобразователя «перемещение – частота».
- 3 Определить количество генерируемых за определенный период времени импульсов с помощью счетчика К155ИЕ5.

3.1 Описание экспериментальной лабораторной установки

Неотъемлемым элементом мехатронных устройств являются электронные схемы, предназначенные для генерирования, преобразования и отображения цифровых (импульсных) сигналов.

Примером импульсного генератора является таймер, собранный на микросхеме NE555N (КР1006ВИ1 – российский аналог). Схема данного генератора изображена на рисунке 3.1, график последовательности прямоугольных импульсов представлен на рисунке 3.2.

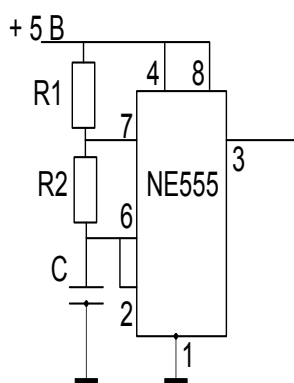


Рисунок 3.1 – Схема импульсного генератора

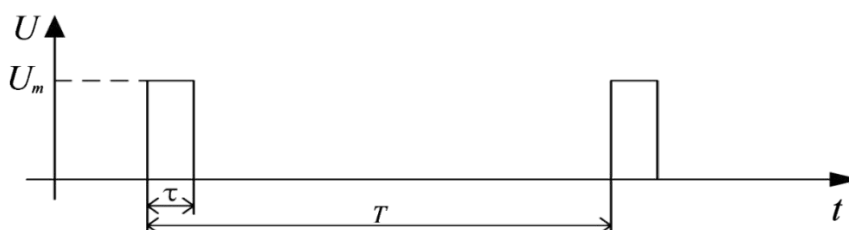


Рисунок 3.2 – График последовательности прямоугольных импульсов

3.2 Рекомендации к выполнению задания

3.2.1 Основные теоретические положения.

Таймер генерирует периодическую последовательность импульсов, представленную на рисунке 3.2, период, частоту следования и длительность которых можно определить по формулам

$$T = 0,695 \cdot (R_1 + 2R_2) \cdot C; \quad F = 1 / T; \quad \tau = (R_1 + 2R_2) \cdot C.$$

Коэффициент заполнения периодической последовательности импульсов равен отношению длительности импульса к периоду их следования:

$$Q = \tau / T.$$

3.2.2 Изучение работы импульсного генератора (таймера), собранного на микросхеме NE555N (КР1006ВИ1).

Для проведения экспериментальных измерений используется набор элементов, состоящий из резисторов $R_1 = 20 \text{ кОм}$, $R_2 = 130 \text{ кОм}$, $R_3 = 20 \text{ кОм}$, конденсатора $C = 0,68 \text{ мкФ}$.

Рассчитать параметры последовательности прямоугольных импульсов. Построить график последовательности прямоугольных импульсов.

3.2.3 Изучение работы преобразователя «перемещение – частота».

Если резистор R_2 заменить резистивным датчиком перемещения, подключенным к схеме через дополнительный резистор R_3 (рисунок 3.3), то получим преобразователь «перемещение – частота». Частота импульсов на выходе генератора зависит от величины перемещения χ движка резистивного датчика R_d .

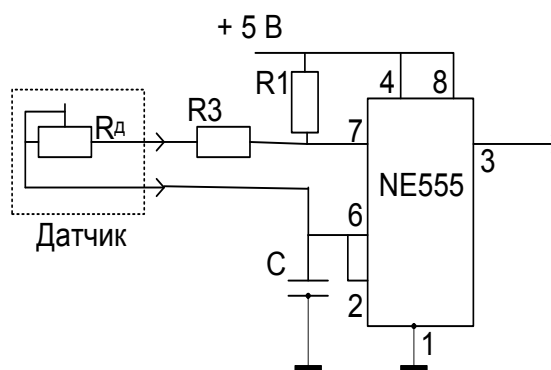


Рисунок 3.3 – Схема преобразователя «перемещение – частота»

Для исследования преобразователя воспользоваться данными таблицы 3.1.



Таблица 3.1 – Исследование преобразователя «перемещение – частота»

χ	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$R_D + R_3$, Ом	130	150	170	190	210	230
$F(\chi)$, Гц						

По результатам измерения построить график функции преобразования $F(\chi)$. Оценить линейность функции. Для нескольких значений χ определить величину коэффициента преобразования $K_{\text{ПР}} = \Delta F / \Delta \chi$. Сделать выводы.

Количество генерируемых за определенный период времени импульсов может быть подсчитано соответствующим счетчиком, например, 4-битным счетчиком К155ИЕ5 (рисунок 3.4).

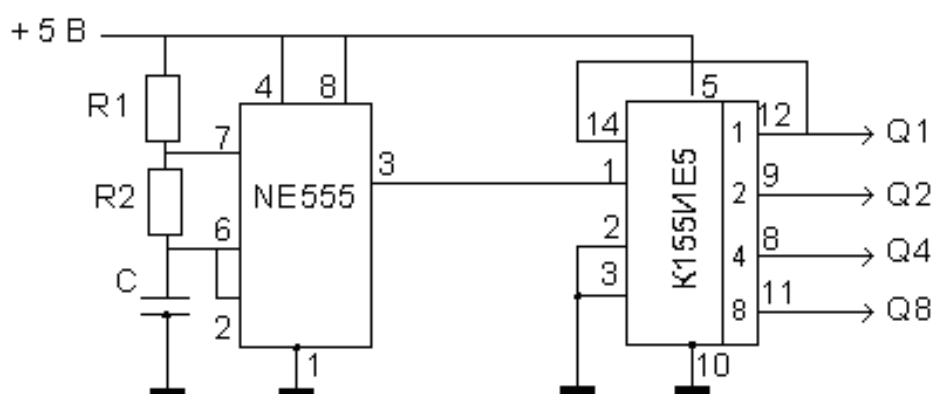


Рисунок 3.4 – Схема счетчика импульсов

Подключив к выходам счетчика светодиоды, можно пронаблюдать визуально в четырехразрядном двоичном коде количество зафиксированных счетчиком импульсов.

- Q1 контакт 12 → с LED,
- Q2 контакт 9 → с LED,
- Q4 контакт 8 → с LED,
- Q8 контакт 11 → с LED.

Содержание отчета

- 1 Номер и наименование лабораторной работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Задание.
- 4 Схема импульсного генератора.
- 5 Расчетные формулы с пояснениями для определения параметров периодической последовательности импульсов.
- 6 Графическое представление периодической последовательности импульсов с учетом полученных расчетов.



- 7 Схема преобразователя «перемещение – частота».
- 8 Таблица 3.1, график функции преобразования $F(\chi)$.
- 9 Определение величины коэффициента преобразования $K_{ГП}$.
- 10 Схема счетчика импульсов.
- 11 Технические характеристики и принцип работы счетчика импульсов, преобразование количества импульсов в двоичный четырехразрядный код.
- 12 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Какой принцип заложен в работу цифровых таймеров?
- 2 Какими параметрами характеризуется периодическая последовательность импульсов цифровых таймеров?
- 3 Изобразить типовую схему включения цифрового таймера.
- 4 Изобразить типовую схему преобразователя «перемещение – частота».
- 5 Как влияет величина перемещения на частоту импульсов в преобразователе «перемещение – частота»?
- 6 Изобразить типовую схему счетчика импульсов.
- 7 Привести примеры определения количества генерируемых за определенный период времени импульсов с помощью 4-битного счетчика.

4 Лабораторная работа № 4. Исследование импедансов электронных элементов

Цель работы: овладеть навыками исследования частотных свойств импедансов двухполюсников.

Задание

- 1 Изучить конструкции и схемы двухполюсников, содержащих R , C , L и используемых в качестве элементов мехатроники.
- 2 Ознакомиться с параметрами, определяющими импеданс двухполюсника.
- 3 Исследовать импедансы электронных элементов и двухполюсников, составленных из них.
- 4 Исследовать частотные свойства импедансов двухполюсников, используемых в качестве элементов мехатроники.

4.1 Описание экспериментальной лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из панели, оснащенной набором элементов, включающим в себя резистор сопротивлением 510 Ом, конденсатор, емкость 1 мкФ и катушку индуктивности 5 Гн. Схемы двухполюсников, которые исследуются в работе, представлены на рисунке 4.1.



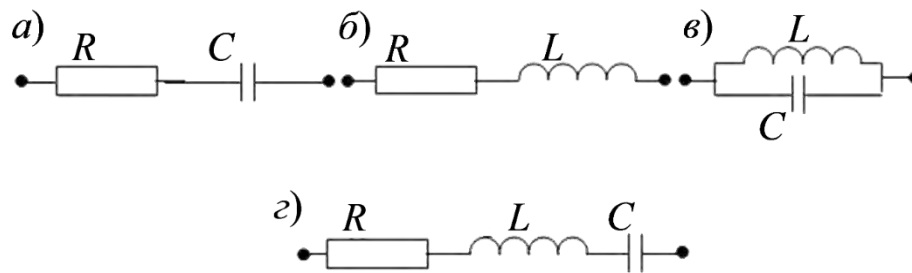


Рисунок 4.1 – Схемы исследуемых двухполюсников

В качестве измерительных приборов в данной лабораторной работе используются цифровой мультиметр и анализатор импеданса.

4.2 Рекомендации к выполнению задания

4.2.1 Основные теоретические положения.

Информационные устройства мехатроники, кроме чувствительных элементов, включают в себя дополнительные электронные элементы: резисторы R , емкости C , индуктивности L . Резистор является активным элементом, а емкость и индуктивность – реактивными.

Их принципиальное отличие состоит в следующем:

- сопротивление резистора не зависит от частоты, а сопротивление емкости и индуктивности – зависит;
- на резисторе при протекании по нему тока выделяется активная (тепловая) мощность, в то время как на емкости и индуктивности в среднем за период переменного тока она равна нулю;
- ток и напряжение на резисторе всегда совпадают по фазе. На емкости ток опережает напряжение по фазе на 90° , а на индуктивности, наоборот, ток отстает по фазе на 90° от напряжения.

В общем случае любой двухполюсник, содержащий R , C , L , характеризуется импедансом.

Импеданс (комплексное сопротивление, полное сопротивление) – это комплексное сопротивление двухполюсника для гармонического сигнала. Импеданс – аналог понятия сопротивления для постоянного тока в приложении к синусоидальному току. Такое понятие позволяет применить закон Ома для участка цепи в случае синусоидальных токов.

Импеданс представляет собой комплексное сопротивление

$$\dot{Z} = R + iX,$$

где R – действительная составляющая (активное сопротивление);

i – мнимая единица в представлении комплексного числа;

X – мнимая составляющая (реактивное сопротивление), которая может быть представлена выражением

$$X = 2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC},$$

где f – частота синусоидального сигнала, Гц;

L – выражает влияние индуктивной составляющей сопротивления, Гн;

C – выражает влияние ёмкостной составляющей, Ф.

Как видно из формулы, при преобладании в сопротивлении индуктивной составляющей $X > 0$, а при преобладании ёмкостной – $X < 0$.

Если двухполюсник имеет проявление индуктивной составляющей на данной частоте, то синусоидальный ток будет отставать от напряжения на зажимах двухполюсника, а если имеет проявление ёмкостной составляющей, то напряжение будет отставать от тока. Если двухполюсник активный, то задержки между током и напряжением не будет. Если реактивную составляющую импеданса X отложить по оси Y с соответствующим знаком, а активную R – по оси X , то получится графическая интерпретация импеданса как комплексного числа (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Графическое представление импеданса как комплексного числа

В показательной форме импеданс определяется следующими соотношениями:

$$\dot{Z} = |\dot{Z}| \cdot e^{i\varphi} = |\dot{Z}| \cdot \cos\varphi + i|\dot{Z}| \sin\varphi,$$

где $|\dot{Z}| = \sqrt{R^2 + X^2}$;

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R}.$$

Величина $|\dot{Z}|$ называется модулем импеданса, а φ – его аргументом.

Для отдельных электронных компонентов импедансы:

$$\dot{Z}_R = R + i \cdot 0 = R \cdot e^{i0} = R;$$

$$\dot{Z}_C = 0 - i \cdot \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{\omega C} \cdot e^{-i90};$$

$$\dot{Z}_L = 0 + i \cdot \omega L = \omega L \cdot e^{+i90}.$$

Соглашения, принятые для напряжений и токов, позволяют записать закон Ома в следующей простой форме:

$$\dot{I} = \dot{U} / \dot{Z}; \quad \dot{U} = \dot{I} \cdot \dot{Z},$$

Данные соглашения означают, что напряжение U , приложенное к схеме с импедансом Z , порождает ток I .

Импеданс последовательно и параллельно соединенных элементов определяется по тем же правилам, что и сопротивление последовательно и параллельно соединенных резисторов.

Однако математические операции здесь необходимо выполнять применительно к комплексным числам. Это касается и комплексных амплитуд напряжений и токов. Так, импеданс двухполюсника, состоящего из последовательно включенных резистора и емкости,

$$\dot{Z} = R - i \frac{1}{\omega C} = |\dot{Z}| \cdot e^{-i\varphi} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \cdot e^{-i \arctg \frac{1}{\omega RC}}.$$

Импеданс удобно изображать в декартовой системе координат в виде вектора длиной $|\dot{Z}|$.

На горизонтальной оси откладываются значения R , а на вертикальной – значения X . Угол между осью R и вектором \dot{Z} соответствует аргументу импеданса φ (рисунок 4.3).

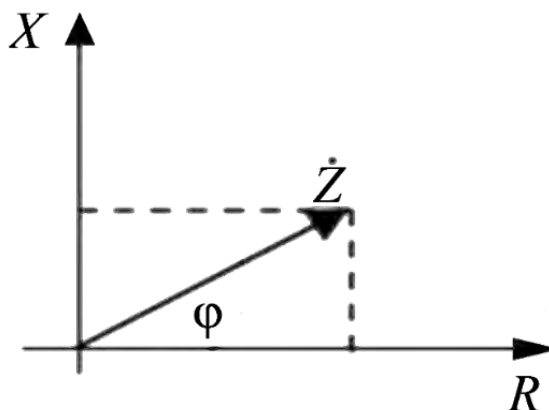


Рисунок 4.3 – Изображение импеданса на плоскости

4.2.2 Исследование импедансов электронных элементов и двухполюсников, составленных из них.

Выбрать на панели стенда резистор, конденсатор и катушку. Последовательно подключая их ко входу мультиметра, анализатора, измерить и записать значение сопротивления резистора, емкость конденсатора и индуктивность катушки (R , Ом; C , мкФ; L , Гн) на частотах 1 и 30 кГц. Обратить внимание на то, как изменяется величина активной и реактивной составляющих импеданса емкости и индуктивности при переходе с минимальной на максимальную частоту. Измерить импеданс отдельных элементов.

Для приведенных на рисунке 4.1 схем рассчитать модуль и аргумент импеданса. Импеданс рассчитать на частотах 1 и 30 кГц.

$$\begin{aligned} |\dot{Z}|_a &= \quad, \quad \varphi_a = \quad; \quad |\dot{Z}|_b = \quad, \quad \varphi_b = \quad; \\ |\dot{Z}|_c &= \quad, \quad \varphi_c = \quad; \quad |\dot{Z}|_d = \quad, \quad \varphi_d = \quad. \end{aligned}$$

Собрать на панели стенда соответствующие схемы и с помощью анализатора импеданса измерить их импеданс и сравнить с результатами расчетов. Сделать выводы.

Собрать схему (см. рисунок 4.1, z) и снять частотную зависимость модуля и аргумента данного двухполюсника для двух значений сопротивления резистора $R = 0$ Ом и $R = 510$ Ом.

Изменяя частоту через 5 кГц от 1 до 30 кГц, результаты записать в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерения импеданса двухполюсника

F , кГц		1	5	10	15	...	30
$R = 0$ Ом	$ \dot{Z} $						
	φ						
$R = 510$ Ом	$ \dot{Z} $						
	φ						

Построить графики $|\dot{Z}| = f(F)$, $\varphi = f(F)$ для $R = 0$ Ом и $R = 510$ Ом, проанализировать их и сделать выводы.

Содержание отчета

- 1 Номер и наименование лабораторной работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Задание.
- 4 Схемы исследуемых двухполюсников.



5 Расчетные формулы с пояснениями для определения импедансов двухполюсников, представленных на рисунке 4.1.

6 Определение импедансов двухполюсников, представленных на рисунке 4.1, на частотах 1 и 30 кГц.

7 Графическое представление импедансов двухполюсников, приведенных на рисунке 4.1, на частотах 1 и 30 кГц.

8 Таблица 4.1, графики частотных зависимостей $|\dot{Z}| = f(F)$, $\varphi = f(F)$ для $R = 0 \text{ Ом}$ и $R = 510 \text{ Ом}$.

9 График функции преобразования $F(\chi)$.

10 Схема счетчика импульсов.

11 Технические характеристики и принцип работы счетчика импульсов, преобразование количества импульсов в двоичный четырехразрядный код.

12 Выводы.

Контрольные вопросы

1 По каким параметрам отличаются резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности?

2 Что понимается под импедансом двухполюсников?

3 В какой форме записывается выражение для импеданса двухполюсников?

4 Как вычисляются модуль и аргумент импеданса электрических элементов и двухполюсников, построенных на их основе?

5 Как изменяются с частотой модуль и аргумент импеданса последовательно и параллельно соединенных емкости и индуктивности?

6 Определить модуль и аргумент напряжения на емкости $C = 3 \text{ мкФ}$, последовательно соединенной с резистором $R = 100 \text{ Ом}$, если к данному двухполюснику приложено напряжение частотой $f = 20 \text{ кГц}$ и амплитудой $U = 2 \text{ В}$.

7 Как влияет на величину импеданса двухполюсника (см. рисунок 4.1, z) значение сопротивления резистора R ?

5 Лабораторная работа № 5. Исследование датчиков температуры

Цель работы: овладеть навыками экспериментального определения температурной характеристики термисторного датчика; изучить конструкции и принцип действия терморезистивных и термобиметаллических датчиков температуры.

Задание

1 Ознакомиться с назначением датчиков температуры в электронной системе автоматического управления двигателем (ЭСАУД) автомобиля и информационно-измерительной системе.

2 Изучить конструкции и принцип действия основных типов датчиков и сигнализаторов температуры, используемых в автомобиле.

3 Экспериментально определить градуировочные характеристики и темпе-



ратурные коэффициенты датчиков температуры ТМ 106, 405.213.

4 Определить температуру срабатывания сигнализатора температуры ТМ 108.

5.1 Описание экспериментальной лабораторной установки

Устройство лабораторной установки приведено на рисунке 5.1. Лабораторная установка представляет собой герметичную емкость 8 с жидкостью 7, температура которой может увеличиваться благодаря нагревательному элементу 10, напряжение на который подается с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТР). В стенку емкости ввернуты исследуемые датчики: 1 – датчик температуры ТМ 106; 2 – датчик температуры 405.213; 3 – датчик температуры ТМ 108. Температура жидкости измеряется датчиком 4 цифрового термометра 5. Приборы омметры 6 служат для измерения электрического сопротивления датчиков. Сигнальная лампа 9 включается при срабатывании сигнализатора температуры 3.

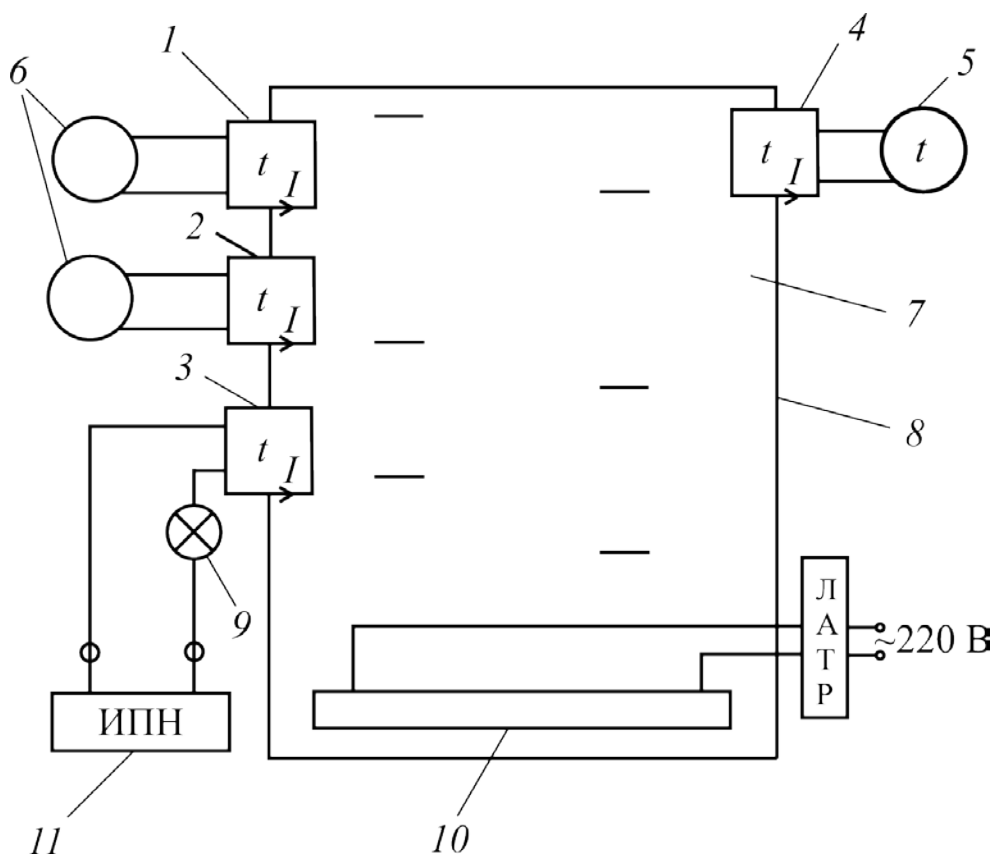


Рисунок 5.1 – Устройство экспериментальной лабораторной установки

В автомобилях для контроля температуры в системах охлаждения двигателей внутреннего сгорания применяют термометры с первичными преобразователями (датчиками) в виде термобиметаллической пластины или термистора (терморезистора с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления). В исследуемых датчиках ТМ 106 и 405.213 функцию чувствительного

элемента и резистивного преобразователя выполняет термистор, а в датчике ТМ 108 – термобиметаллическая пластина.

5.2 Рекомендации к выполнению задания

5.2.1 Экспериментальное определение характеристик датчиков температуры.

5.2.1.1 Определить градуировочные характеристики $R_d(t)$ датчиков температуры ТМ 106, 405.213.

Собрать схему согласно рисунку 5.1. Включить электрическое питание стенда, измерительных приборов. Изменяя подводимое к нагревательному элементу напряжение с помощью ЛАТР, произвести измерения электрических сопротивлений датчиков через 10 °С в диапазоне температур $t = 20 \dots 100$ °С. Результаты измерений занести в таблицу 5.1.

5.2.1.2 В процессе эксперимента зафиксировать температуру срабатывания датчика-сигнализатора ТМ 108.

Таблица 5.1 – Экспериментальные данные

$t, ^\circ\text{C}$	$R_{дэ}, \text{Ом}$	
	ТМ 106	405.213
20		
...		
100		

5.2.2 Аналитическое определение характеристик датчиков температуры.

5.2.2.1 По двум значениям сопротивлений датчиков ТМ 106 и 405.213 при $t_1 = 30$ °С и $t_2 = 90$ °С найти значения параметров A и B аналитических зависимостей сопротивления датчика от температуры, определяемой по формуле

$$R_{dp}(t) = Ae^{B/\theta}, \quad (5.1)$$

где θ – абсолютная температура, К;

A – коэффициент, имеющий размерность сопротивления;

B – коэффициент, зависящий от материала датчика, К.

Коэффициенты A и B можно определить экспериментально, если известны значения сопротивлений датчиков R_1 и R_2 , соответствующие значениям температуры θ_1 и θ_2 .

Поскольку $R_1 = A$ и $R_2 = Ae^{B/\theta_2}$, то

$$B = \frac{\theta_1\theta_2}{\theta_2 - \theta_1} \ln \frac{R_1}{R_2}. \quad (5.2)$$

Определив значение коэффициента B , значение коэффициента A можно получить из выражения $R_1 = Ae^{B/\theta_1}$

$$A = R_1 \cdot e^{B/\theta_1}. \quad (5.3)$$

5.2.2.2 Записать полученные аналитические выражения. Рассчитать по ним значения сопротивления датчиков, результаты внести в таблицу 5.2.

5.2.2.3 Построить расчетную $R_{др}(t)$ и экспериментальную $R_{дэ}(t)$ характеристики для датчиков температуры ТМ 106 и 405.213. Проанализировать результаты и сделать выводы.

Таблица 5.2 – Расчетные данные

$t, ^\circ\text{C}$	$R_{др}, \text{Ом}$	
	ТМ 106	405.213
20		
...		
100		

5.2.3 *Определение температурных коэффициентов датчиков температуры ТМ 106 и 405.213.*

5.2.3.1 Температурный коэффициент термистора (отношение скорости изменения сопротивления при изменении температуры к значению сопротивления при нулевой мощности рассеивания) отрицателен и уменьшается обратно пропорционально квадрату абсолютной температуры:

$$\alpha = -100 \frac{B}{\theta}. \quad (5.4)$$

Определить температурный коэффициент α для $t = t_{\min}$ и $t = t_{\max}$ для датчиков температуры ТМ 106, 405.213.

5.2.3.2 Проанализировать результаты и сделать выводы.

5.2.4 *Назначение, конструкция, принцип действия и характеристики датчиков температуры.*

5.2.4.1 Датчик ТМ 106 входит в состав автомобильного логометрического термометра для измерения температуры охлаждающей жидкости и представляет собой латунный баллон 1 (рисунок 5.2), внутренняя поверхность которого изолирована втулкой 5. К плоскому дну баллона токоведущей пружиной 3 прижат

терморезистор 4, выполненный в виде таблетки. Торцевые поверхности таблетки покрыты тонким слоем серебра, т. к. являются контактами. Другим концом пружина 3 соединяется с зажимом датчика 2. Сопротивление терморезистора значительно уменьшается при увеличении температуры среды, в которой расположен датчик. Это приводит к возрастанию тока, проходящего через измерительные катушки логометрического указателя.

Зависимость электрического сопротивления датчика ТМ 106 от температуры приведена в таблице 5.3.

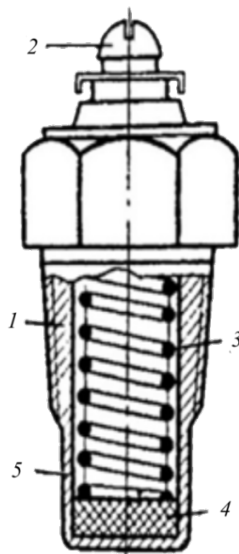


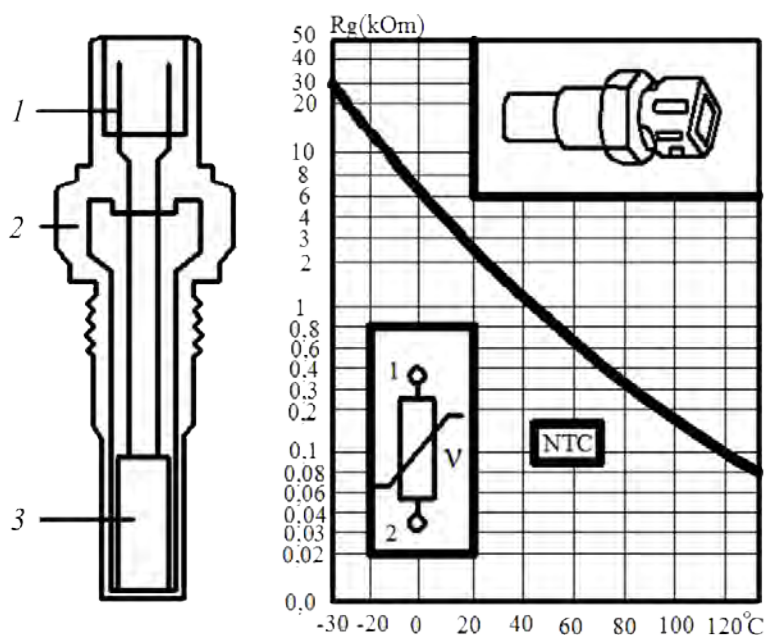
Рисунок 5.2 – Терморезистивный датчик температуры ТМ 106

Таблица 5.3 – Зависимость электрического сопротивления датчика ТМ 106 от температуры

Температура, °C	30	50	90	130
Сопротивление, Ом	1350...1880	585...820	155...196	52...65

5.2.4.2 Датчик 405.213 (рисунок 5.3) входит в состав электронной системы автоматического управления двигателем (ЭСАУД) автомобиля.

Терморезистор 3 помещен в защитный корпус 2 с крепежной резьбой для установки датчика и электрическими контактами 1. По мере прогрева двигателя автомобиля сопротивление чувствительного элемента датчика уменьшается, что приводит к уменьшению напряжения на его выходных зажимах. В зависимости от значения этого напряжения контроллер ЭСАУД рассчитывает режим работы двигателя.



1 – электрические контакты; 2 – теплопроводный корпус; 3 – термистор

Рисунок 5.3 – Терморезистивный датчик температуры 405.213

Для холодного двигателя температура от минус 25 до плюс 65 °С.

Для прогретого двигателя температура от плюс 65 до плюс 120 °С.

Если температура двигателя опускается ниже минус 25 °С, то контроллер не позволяет запускать двигатель автомобиля.

5.2.4.3 Датчик ТМ 108 (рисунок 5.4) используется в качестве сигнализатора температуры включения и отключения электрического вентилятора охлаждения радиатора двигателя. Основой датчика служат корпус 1 и биметаллическая пластина 2, выполненная из двух слоев металлов с разными значениями температурного коэффициента линейного расширения. Если температура окружающей среды увеличивается, биметаллическая пластина меняет свою кривизну. При достижении определенной температуры соединяются подвижный 3 и неподвижный 4 контакты, замыкая таким образом электрическую цепь питания вентилятора. Характеристики датчика ТМ 108 приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Характеристики датчика ТМ 108

Тип датчика	Температура включения, °С	Температура выключения, °С	Применение
ТМ 108	87	82	Москвич-2141, -21412, ИЖ-2126
ТМ 108	92	87	ВАЗ-2104, ..., -07
ТМ 108 (66.3710)	99	94	ВАЗ-2108, ..., -15

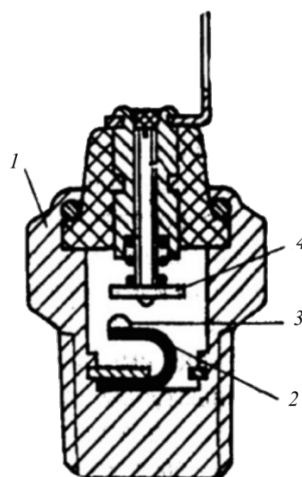


Рисунок 5.4 – Конструкция датчика ТМ 108

Содержание отчета

- 1 Номер и наименование лабораторной работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Задание.
- 4 Устройство экспериментальной установки (см. рисунок 5.1).
- 5 Формулы для построения расчетных характеристик $R_{др}(t)$ датчиков ТМ 106 и 405.213.
- 6 Заполненные таблицы 5.1 и 5.2 с заголовками.
- 7 Анализ результатов об исправности датчика ТМ 108.
- 8 Графики расчетной $R_{др}(t)$ и экспериментальной $R_{дэ}(t)$ характеристик датчиков ТМ 106 и 405.213.
- 9 Рисунки 5.2–5.4 с описанием назначения, конструкции, принципа действия датчиков ТМ 106, 405.213, ТМ 108.
- 10 Формулы для определения температурных коэффициентов α для $t = t_{\min}$, $t = t_{\max}$ и их расчетные значения.
- 11 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение температурных датчиков в автомобиле.
- 2 Каковы устройство и принцип действия терморезисторных датчиков?
- 3 Каковы устройство и принцип действия термобиметаллических датчиков?
- 4 Что такое температурный коэффициент сопротивления?
- 5 Из каких основных узлов состоит автомобильный термометр?
- 6 Как экспериментально определяется температурная зависимость терморезистора?

6 Лабораторная работа № 6. Исследование резистивных датчиков положения

Цель работы: изучить принцип действия и конструкции резистивного датчика положения; исследовать характеристики.

Задание

1 Ознакомиться с назначением резистивных датчиков положения мехатронных систем.

2 Изучить конструкции и принцип действия основных типов датчиков положения, используемых в мехатронике.

3 Экспериментально определить зависимость выходного напряжения резистивного датчика положения от относительной величины перемещения движка для различных значений сопротивления нагрузки.

6.1 Описание экспериментальной лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из панели, оснащенной резистивным датчиком положения (РДП), который представляет собой линейный потенциометр типа СПЗ. Величина сопротивления датчика $R_0 = 52$ кОм. В качестве сопротивлений нагрузок R_H используются резисторы МЛТ номиналом $R_{H1} = 100$ кОм, $R_{H2} = 24$ кОм, $R_{H3} = 6,8$ кОм. Сопротивления линеаризации $R_{Л1} = 47$ кОм, $R_{Л1} = 22$ кОм. Электрическая схема исследования резистивного датчика положения приведена на рисунке 6.1.

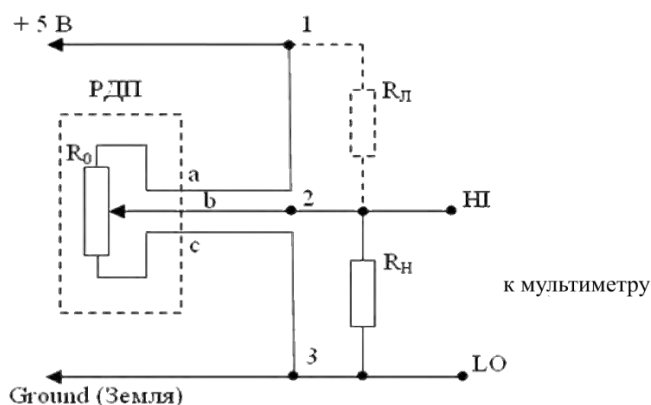


Рисунок 6.1 – Схема исследования резистивного датчика положения

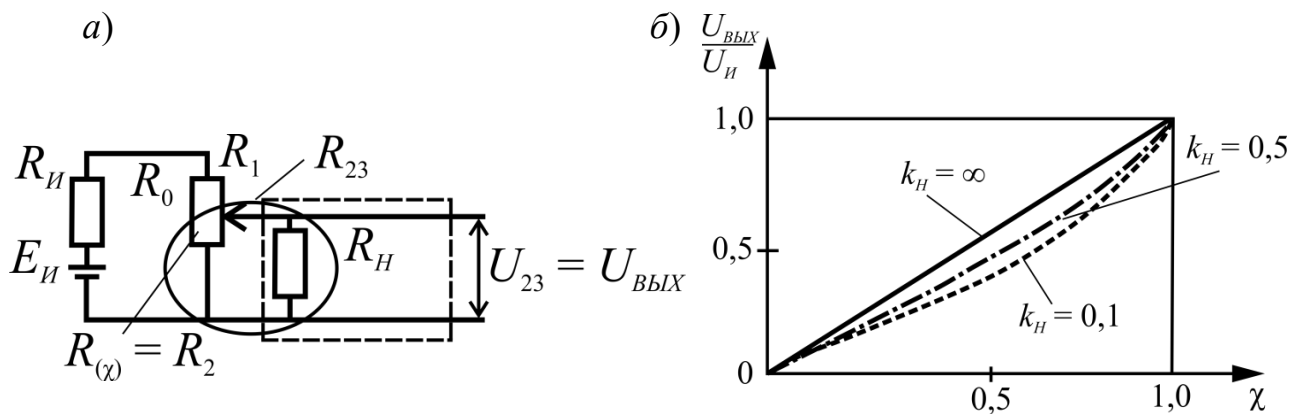
Датчик с помощью проводников (a , b , c) подключается к клеммам 1...3 панели. К этим же точкам подключаются сопротивления нагрузки R_H и сопротивления линеаризации $R_Л$. Клеммы 2 и 3 соединяют с зажимами HI , LO мультиметра.

6.2 Рекомендации к выполнению задания

6.2.1 Основные теоретические положения.

Резистивный датчик положения (РДП) представляет собой резистивный сенсорный элемент, включенный по схеме делителя напряжения, сопротивление которого регулируется положением подвижного контакта. РДП относится к преобразователям с абсолютным отсчетом, т. к. их функция преобразования монотонна и непрерывна, благодаря чему кратковременная потеря информации не приводит к накоплению погрешности.

Схема резистивного датчика положения представлена на рисунке 6.2, а.



а – схема резистивного датчика положения; б – влияние нагрузки на характеристики

Рисунок 6.2 – Резистивный датчик положения

РДП сопротивлением R_0 подключается к ЭДС E_H с собственным сопротивлением R_H .

Сопротивление $R(X) = R(\chi)$ РДП в процессе работы изменяется по линейному закону в зависимости от перемещения X :

$$R(X) = R_2 = \frac{X}{X_{\max}} R_0, \quad (6.1)$$

где $\frac{X}{X_{\max}}$ – относительное перемещение движка РДП, $\frac{X}{X_{\max}} = \chi$.

В общем случае напряжение на выходе РДП, подаваемое на следующий каскад преобразователя (например, усилитель), с входным сопротивлением R_H

$$U_{ВЫХ} = \frac{E_H R(x)}{(R_H + R_0)[1 + R(x)/R_H] \cdot [1 - R(x)/R_H + R_0]}. \quad (6.2)$$

В частном случае при питании датчика от источника напряжения ($R_H = 0$) имеем $E_H = U_H$. При этом выходной сигнал РДП пропорционален

сопротивлению R_{23} (образованному частью РДП $R(X) = R_2$ и нагрузкой R_H):

$$U_{ВЫХ} = U_{23} = \frac{U_H R_{23}}{(R_1 + R_{23})}, \quad (6.3)$$

где $R_{23} = \frac{R_2 R_H}{(R_2 + R_H)}$.

Тогда при отсутствии нагрузки на РДП $R_H = \infty$, $R_0 = R_1 + R_2$ и поэтому $U_2 / U_H = R_2 / R_0$, а функция преобразования линейна. В реальных режимах условие $R_H = \infty$ невыполнимо и функция преобразования нелинейна.

В схеме делителя напряжения с параметрами R_0 , U_H перемещение подвижного контакта РДП в относительных единицах χ изменяется от 0 до 1. В этом случае функция преобразования $U_{23} = f(\chi)$ определяется выражением

$$U_{ВЫХ} = \frac{U_H k_H \chi}{(k_H + \chi - \chi^2)}, \quad (6.4)$$

где k_H – коэффициент нагрузки, $k_H = R_H / R_0$.

Погрешность нелинейности РДП обусловлена отклонением отношения $U_{ВЫХ} / U_H$ нагруженного датчика от ненагруженного. Величина относительной погрешности нелинейности

$$\xi_{НЛ} = \frac{(\chi^3 - \chi^2)}{(k_H + \chi - \chi^2)}. \quad (6.5)$$

Параметр $\xi_{НЛ}$ и чувствительность РДП зависят от величины относительного перемещения движка и сопротивления нагрузки (рисунок 6.2, б). Наибольшее отклонение реальной кривой от идеальной имеет место при $\chi = 2 / 3$:

$$(\xi_{НЛ})_{\max} = \frac{4k_H}{27}.$$

Для линеаризации функции преобразования в плечо РДП включается дополнительный резистор R_L – сопротивление линеаризации. Теоретически при $R_L = R_H$ достигается максимальная линеаризация функции преобразования. В данной лабораторной работе исследуется резистивный датчик положения в виде линейного потенциометра, устанавливаемый на панели совместно с дополнительными элементами. Измерения выходного напряжения, снимаемого с нагрузки, производятся с помощью мультиметра.



6.2.2 *Исследование зависимости выходного напряжения резистивного датчика положения от относительной величины перемещения движка для различных значений сопротивления нагрузки.*

Собрать электрическую схему исследования РДП согласно рисунку 6.1 без сопротивления нагрузки ($R_H = \infty$) и сопротивления линеаризации ($R_L = \infty$).

Изменяя относительную величину перемещения щетки датчика χ (от 0 до 1 через 0,1), измерить напряжение на его выходе. Результаты занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты исследования функции преобразования РДП ($R_L = \infty$)

χ		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	...	1,0
$R_H = \infty$	$U_{\text{вых}}$								
	$U_{\text{вых}} / U_{\text{и}}$								
$R_{H1} = 100 \text{ кОм}$	$U_{\text{вых}}$								
	$U_{\text{вых}} / U_{\text{и}}$								
$R_{H2} = 24 \text{ кОм}$	$U_{\text{вых}}$								
	$U_{\text{вых}} / U_{\text{и}}$								
$R_{H3} = 6,8 \text{ кОм}$	$U_{\text{вых}}$								
	$U_{\text{вых}} / U_{\text{и}}$								
$R_{H3} = 6,8 \text{ кОм}$ (расчет)	$U_{\text{вых}}$								
	$U_{\text{вых}} / U_{\text{и}}$								

Провести аналогичные измерения (при $R_L = \infty$) для R_{H1} , R_{H2} , R_{H3} . По результатам экспериментов построить графики (четыре графика в одной системе координат), проанализировать их и сделать вывод.

Для R_{H3} по формуле (6.4) провести расчет значения $U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{И}}$ для разных значений χ , сравнить их с результатами эксперимента (построить график) и сделать выводы.

Для R_{H3} по формуле (6.5) провести расчет и построить график зависимости величины относительной погрешности нелинейности $\xi_{\text{НЛ}}$ от величины χ .

6.2.3 *Исследование влияния сопротивления линеаризации на функцию преобразования РДП.*

Подключить к датчику резисторы $R_{H3} = 6,8 \text{ кОм}$ и $R_{Л1} = 47 \text{ кОм}$. Провести измерения выходного напряжения и рассчитать $U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{И}}$ для разных значений χ . Результаты занести в таблицу 6.2.

Провести аналогичные измерения для $R_{Л2} = 22 \text{ кОм}$. По результатам эксперимента построить графики (два графика в одной системе координат), проанализировать их и сделать выводы.

Таблица 6.2 – Результаты исследования функции преобразования РДП ($R_{H3} = 6,8 \text{ кОм}$)

χ		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	...	1,0
$R_{Л1} = 47 \text{ кОм}$	$U_{вых}$								
	$U_{вых} / U_{и}$								
$R_{Л2} = 22 \text{ кОм}$	$U_{вых}$								
	$U_{вых} / U_{и}$								

Содержание отчета

- 1 Номер и наименование лабораторной работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Задание.
- 4 Схема исследования резистивных датчиков положения.
- 5 Расчетные формулы с пояснениями для определения выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ и величины относительной погрешности нелинейности $\xi_{НЛ}$ резистивного датчика положения.
- 6 Таблица 6.1 и графики $U_{ВЫХ} / U_{и}$ (четыре графика в одной системе координат) для разных значений χ по результатам таблицы 6.1.
- 7 График зависимости величины относительной погрешности нелинейности $\xi_{НЛ}$ от величины χ по результатам таблицы 6.1 для R_{H3} .
- 8 Таблица 6.1 и графики $U_{ВЫХ} / U_{и}$ (два графика в одной системе координат) для разных значений χ по результатам таблицы 6.2.
- 9 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Пояснить, как устроены резистивные датчики линейного и углового положения.
- 2 Что представляет собой функция преобразования резистивного датчика положения?
- 3 На какой параметр функции преобразования резистивных датчиков положения влияет нагрузка?
- 4 Как определяется коэффициент нагрузки резистивного датчика положения?
- 5 Каким образом определяется относительная величина погрешности нелинейности графика функции преобразования РДП?
- 6 Как определяется наибольшее отклонение реальной кривой функции преобразования РДП от идеальной?
- 7 Каким образом можно повысить линейность графика функции преобразования РДП?



7 Лабораторная работа № 7. Исследование датчиков детонации

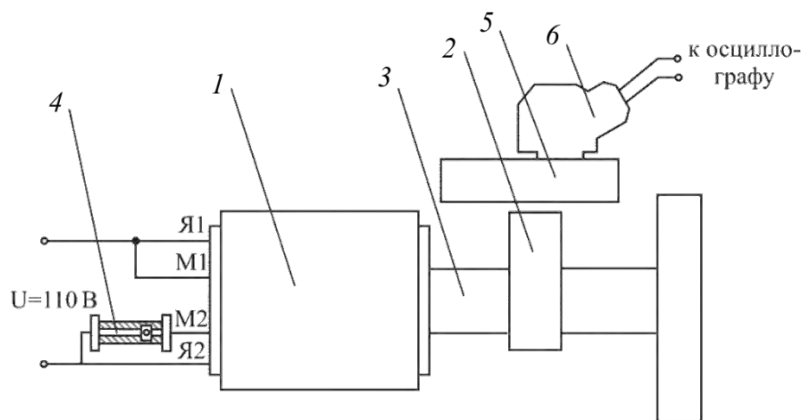
Цель работы: изучить принцип функционирования, конструкции пьезоэлектрического датчика детонации; экспериментально исследовать его выходные характеристики.

Задание

- 1 Ознакомиться с назначением датчика детонации в электронной системе автоматического управления двигателем (ЭСАУД) автомобиля.
- 2 Изучить конструкции и принцип действия основных типов датчиков, используемых в автомобиле.
- 3 Ознакомиться с экспериментальной лабораторной установкой.
- 4 Исследовать явление детонации.

7.1 Описание экспериментальной лабораторной установки

Лабораторная установка, схема которой изображена на рисунке 7.1, выполнена на базе электродвигателя постоянного тока, на приводном валу которого установлен эксцентрик. Эксцентрик представляет собой диск, ось которого смещена по отношению к оси приводного вала двигателя.



1 – электрический двигатель; 2 – эксцентрик; 3 – выходной вал двигателя; 4 – реостат; 5 – рабочая пластина; 6 – датчик детонации

Рисунок 7.1 – Схема экспериментальной лабораторной установки

Регулирование частоты вращения вала электрического двигателя производится по реостатной схеме, для чего последовательно с обмоткой возбуждения включен реостат, изменяющий ток в обмотке.

На лицевой поверхности закреплена рабочая металлическая пластина, на которой установлен исследуемый датчик детонации GT305.

Имитация детонации (взрывной ударной волны) в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) автомобиля производится на лабораторной установке в виде

ударной вибрации рабочей пластины под действием ударов вращающегося эксцентрика.

Имитация изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя автомобиля осуществляется регулированием частоты вращения вала электрического двигателя с помощью реостата.

7.2 Рекомендации к выполнению задания

7.2.1 Исследование детонации.

7.2.1.1 Плавно изменяя величину сопротивления реостата, произвести регулирование частоты вращения вала. По показаниям осциллографа отследить выходной сигнал датчика детонации. При детонации в специфическом спектре частот (обычно 6...12 кГц) появляется переменная составляющая с высокой амплитудой. На рисунке 7.2 представлен вариант выходного сигнала датчика детонации.

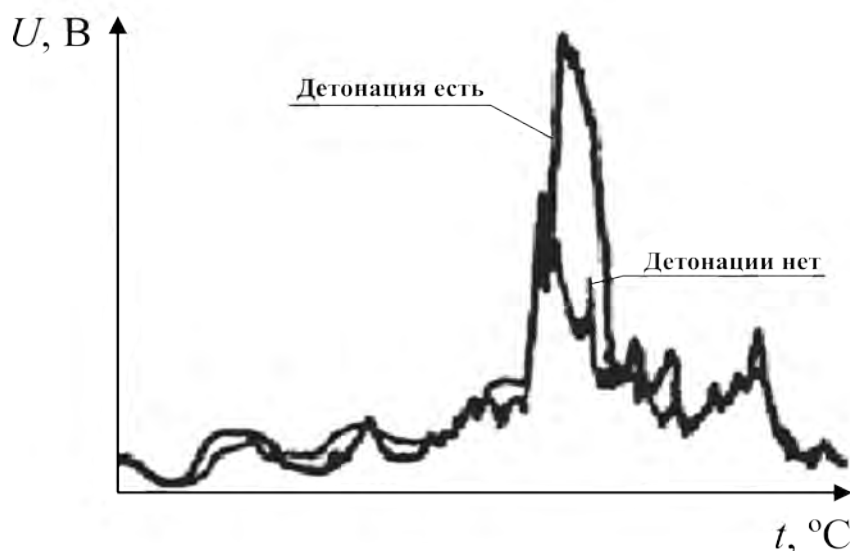


Рисунок 7.2 – Возможные виды выходного напряжения датчика детонации при её наличии и отсутствии

7.2.1.2 Начертить полученные временные диаграммы сигналов датчика при наличии и отсутствии детонации.

7.2.2 Назначение, принцип действия, конструкция и основные характеристики датчиков детонации.

7.2.2.1 Назначение, принцип действия датчиков детонации. Датчики детонации используются для обнаружения детонации, т. е. взрывного воспламенения топливно-воздушной смеси в цилиндрах ДВС автомобиля. Детонация вызывает сильную ударную вибрацию и перегрев, что может привести к механическим повреждениям деталей двигателя. Контроль за детонацией особенно актуален для современных ДВС, поскольку для их эффективной работы обеспечивают оптимальный угол опережения зажигания, близкий к предельному, за которым

начинается детонация. Этим достигается наиболее полное сгорание топливно-воздушной смеси, сопровождаемое повышением КПД двигателя, его мощности, экологичности и экономичности, а также появлением возможности применения бензина с различным октановым числом.

Обнаружение детонации производится путем измерения ударной вибрации цилиндров с помощью пьезоэлектрического датчика детонации. В качестве чувствительного элемента такого датчика используется пластина пьезоэлектрического кристалла (в основном из пьезокерамики).

На рисунке 7.3 представлен принцип действия пьезоэлектрического датчика. При механическом воздействии (МВ) на пластину пьезокристалла (ПК) на токопроводящих покрытиях (ТП) появляется разность электрических потенциалов $U_{вых}$, значение которой пропорционально силе механического воздействия.

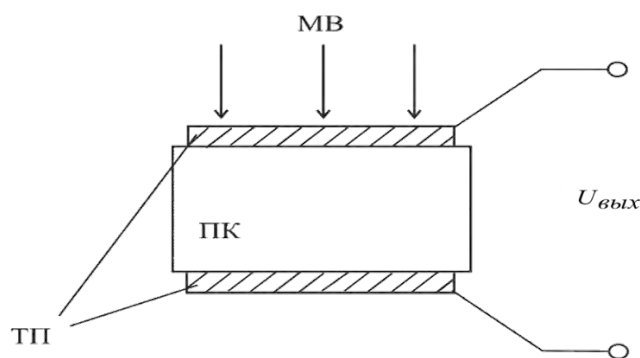


Рисунок 7.3 – Принцип действия пьезоэлектрического датчика

Достоинства пьезоэлектрических преобразователей: малые геометрические размеры; простота конструкции; надежность в работе; возможность измерения быстропротекающих процессов. Такие приборы не требуют источника питания, поскольку являются преобразователями генераторного типа, не имеют подвижных деталей, что гарантирует исключительную долговечность.

Выходная электрическая мощность данных преобразователей очень мала, поэтому для согласования с электронной системой управления на его выход включается усилитель напряжения с возможно большим входным сопротивлением.

Среди датчиков детонации по режиму работы выделяют преобразователи широкополосного, резонансного и полурезонансного (резонансно-широкополосного) типов.

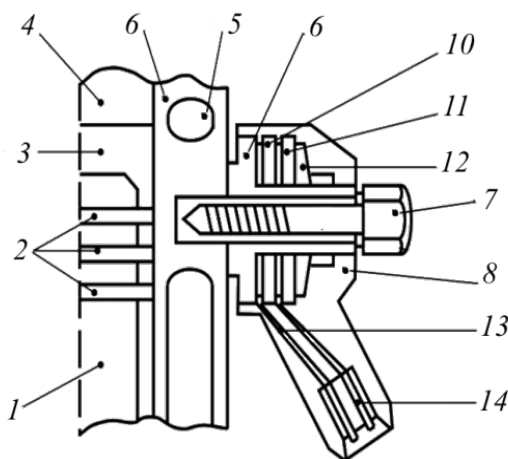
К широкополосным относят пьезоэлектрические преобразователи с рабочим диапазоном частот 4...10 кГц, сформированным на плоской части амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) ниже собственной резонансной частоты. Такие датчики детонации универсальны в применении: их можно использовать в ДВС с различными системами управления (моно- и распределенным впрыском) и с разными частотами вибрационных ускорений (детонационных режимов).

К резонансным датчикам относят преобразователи с узкой полосой пропускания (50...300 Гц), собственная частота которых настроена на частоту

детонации ДВС. В связи с тем, что резонансные частоты даже для ДВС одной модели различаются в пределах 5 %, такие датчики детонации не находят широкого применения для управления ДВС серийных автомобилей.

Полурезонансные датчики – это преобразователи с широкой полосой пропускания (до 1000 Гц) и с АЧХ, синтезированной из двух или более пересекающихся характеристик резонансных режимов. Они сочетают в себе достоинства широкополосных (широкая полоса пропускания) и резонансных (усиление информационного сигнала) датчиков.

7.2.2.2 Конструкция исследуемого широкополосного пьезоэлектрического датчика детонации GT305 и его установка на двигатель представлены на рисунке 7.4.



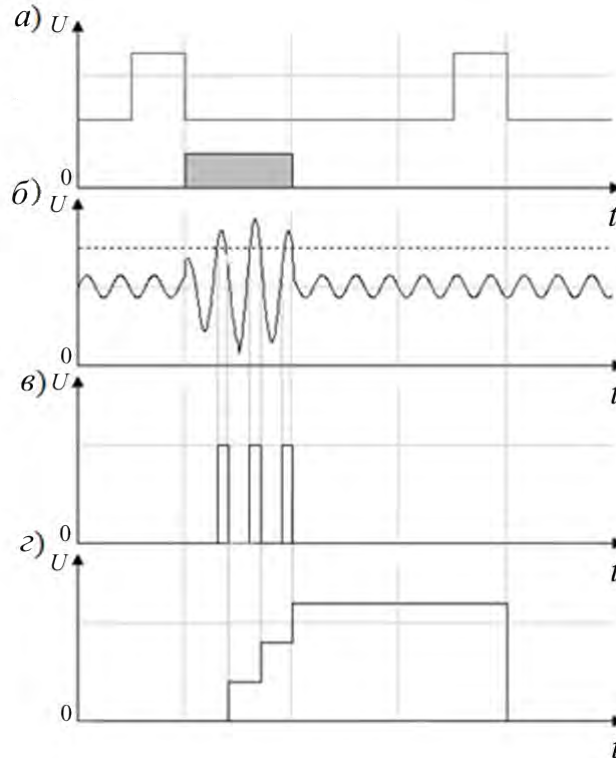
1 – поршень ДВС; 2 – поршневые кольца; 3 – камера сгорания; 4 – головка блока цилиндров; 5 – охлаждение блока; 6 – блок цилиндров; 7 – натяжной болт; 8 – корпус датчика; 9 – прижимная втулка; 10 – пьезоэлемент датчика; 11 – гравитационная (инерционная) масса датчика; 12 – упругая шайба; 13 – контактные кольца; 14 – электрические контакты

Рисунок 7.4 – Конструкция датчика детонации широкополосного типа GT305

Пьезоэлемент 10 изготовлен в форме шайбы. Инерционная масса 11 для уменьшения габаритов датчика изготавливается из металлического сплава с высокой плотностью (18 г/см^3). Пьезоэлемент посредством болта прижимается к полированной площадке блока цилиндров 6. Точка установки датчика определяется экспериментально на этапе конструкторской разработки ДВС. Для отработанной модели блока цилиндров место установки датчика детонации остается постоянным.

Распознавание детонации в ЭСАУД автомобиля производится путем сравнения (вычитания) текущего сигнала и среднего значения амплитуды сигнала датчика при отсутствии детонации. Степень детонации определяется подсчетом числа амплитуд в сигнале датчика, значение которых превышает типовой уровень. На рисунке 7.5 представлены временные диаграммы, иллюстрирующие работу системы контроля детонации ДВС.

После распознавания детонации производится уменьшение угла опережения зажигания, т. е. происходит коррекция раннего зажигания на более позднее. Если после этого детонация отсутствует, угол опережения зажигания постепенно увеличивается. Таким образом, управление углом зажигания производится так, чтобы он был близок к детонационному пределу.



а – сигнал момента зажигания; *б* – выходной сигнал датчика детонации; *в* – сигнал обнаружения детонации; *г* – сигнал коррекции угла опережения зажигания

Рисунок 7.5 – Временные диаграммы работы системы контроля детонации

7.2.2.3 Основные функциональные и эксплуатационные характеристики датчика детонации GT305 приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Основные функциональные и эксплуатационные характеристики

Характеристика датчика детонации GT305	Значение
Коэффициент преобразования ускорения в электрическое напряжение, мВ/г	32
Рабочий диапазон частот, кГц	4...10
Неравномерность АЧХ в рабочем диапазоне частот, дБ	± 1
Собственная электрическая емкость, нФ	1
Основная резонансная частота, кГц	>22
Максимальная рабочая температура, °С	150
Диаметр, мм	$\varnothing 28 \times 18$
Тип соединения с ЭСАУД	Двухпроводное

Содержание отчета

- 1 Номер и наименование лабораторной работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Задание.
- 4 Схема экспериментальной лабораторной установки, описание принципа работы.
- 5 Временные диаграммы сигналов датчика при наличии и отсутствии детонации.
- 6 Назначение, конструкция (см. рисунок 7.4), принцип действия датчика детонации широкополосного типа GT305.
- 7 Основные функциональные и эксплуатационные характеристики датчика детонации GT305 (см. таблицу 7.1).
- 8 Контроль детонации в ЭСАУД автомобиля. Временные диаграммы работы системы контроля детонации (см. рисунок 7.5).
- 9 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Устройство лабораторной установки.
- 2 Что такое детонация?
- 3 Каковы причины возникновения и необходимости контроля детонации в ДВС?
- 4 На каких частотах проявляется детонация в двигателе внутреннего сгорания?
- 5 Где может устанавливаться пьезоэлектрический датчик детонации?
- 6 В чем сущность пьезоэффекта?
- 7 Основные достоинства пьезоэлектрических датчиков детонации.
- 8 Как согласуется работа датчика детонации с электронной системой управления ДВС автомобиля?
- 9 Каким образом совершается контроль детонации в электронной системе автоматического управления двигателем?

8 Лабораторная работа № 8. Исследование датчиков скорости

Цель работы: изучить конструкцию и принцип действия датчиков скорости автомобиля; экспериментально определить их характеристики.

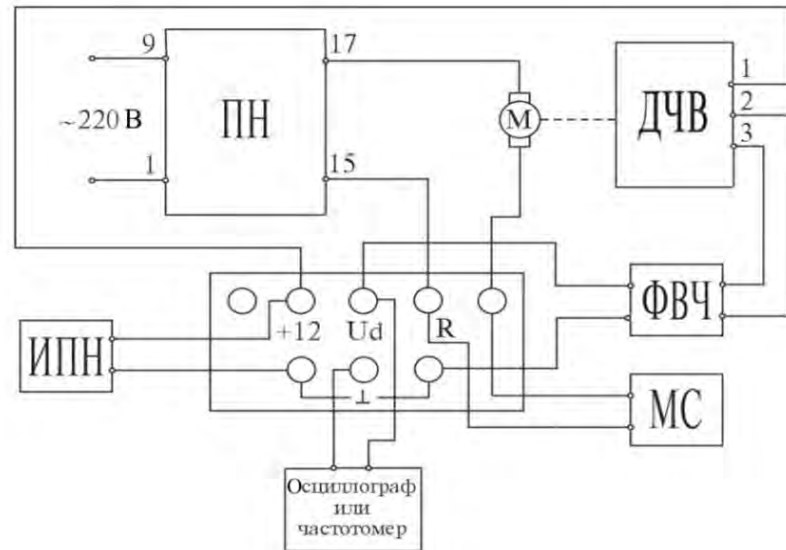
Задание

- 1 Ознакомиться с назначением датчиков скорости в ЭСАУД автомобиля.
- 2 Изучить назначение, конструкцию и принцип действия основных типов датчиков скорости, используемых в системе управления автомобилем.
- 3 Ознакомиться с экспериментальной лабораторной установкой.
- 4 Исследовать характеристики датчиков скорости.



8.1 Описание экспериментальной лабораторной установки

Структурная схема экспериментальной лабораторной установки представлена на рисунке 8.1. Она включает два источника питания: преобразователь напряжения (ПН) и источник постоянного напряжения (ИПН).



ИПН – источник постоянного напряжения; ПН – преобразователь напряжения; ДЧВ – датчик скорости автомобиля; ФВЧ – фильтр верхних частот; МС – магазин сопротивлений

Рисунок 8.1 – Структурная схема экспериментальной лабораторной установки

ПН обеспечивает питание электрического двигателя постоянного тока М и представляет собой понижающий трансформатор с диодной мостовой схемой выпрямления. Он преобразует переменное однофазное напряжение промышленной частоты 220 В в постоянное напряжение 27 В.

ИПН определяет номинальное напряжение питания датчика скорости, равное напряжению питания бортовой сети автомобиля 12 В.

Управление частотой вращения вала электрического двигателя, имитирующего вал коробки переключения передач автомобиля, производится с помощью магазина сопротивлений МС. Он включен в якорную цепь коллекторного двигателя постоянного тока. Изменяя сопротивление МС, можно изменять частоту вращения вала электрического двигателя М.

Выходное напряжение датчика через фильтр верхних частот ФВЧ, предназначенный для уменьшения влияния высокочастотных коммутационных помех, подключено к сборочной панели экспериментальной лабораторной установки.

8.2 Рекомендации к выполнению задания

8.2.1 Исследование характеристик датчиков скорости.

8.2.1.1 Включить источники питания установки (ИПН и ПН) и измерительные приборы в промышленную однофазную электрическую сеть напряжением 220 В. Установить на выходе ИПН постоянное напряжение 12 В, равное номинальному значению напряжения бортовой сети автомобиля.

8.2.1.2 Подключить к выходу исследуемого датчика цифровой частотомер. Для восьми значений заданных преподавателем сопротивлений МС, изменяя частоту вращения вала электрического двигателя, определить частоту f изменения выходного напряжения U_d датчиков скорости 402.139.505, 402.139.001–04. Данные измерений занести в таблицу 8.1.

8.2.1.3 Выключить питание стенда и измерительных приборов, проанализировать полученные результаты измерения.

Таблица 8.1 – Экспериментальные и расчетные данные

Тип датчика	Сопротивление R	Частота импульсов в секунду f_{U_d} , Гц	Частота вращения, об/мин
(402.139.505)	R_1	83	
	R_2	100	
	R_3	126	
	R_4	130	
	R_5	150	
	R_6	201	
	R_7	251	
	R_8	301	
(402.139.001–04)	R_1	160	
	R_2	210	
	R_3	239	
	R_4	284	
	R_5	302	
	R_6	403	
	R_7	500	
	R_8	603	

8.2.1.4 Рассчитать частоту вращения, пропорциональную скорости автомобиля v_a , исследуемых типов датчиков (таблица 8.2). Данные занести в таблицу 8.1.

Таблица 8.2 – Количество импульсов на оборот исследуемых типов датчиков

Наименование	Номер по каталогу	Количество импульсов на оборот
402.139.505	301.3843	6
402.139.001–04	344.3843	10

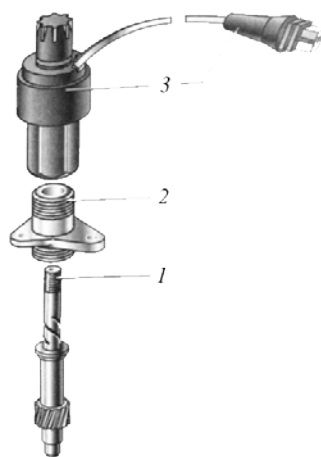
8.2.1.5 По данным таблицы 8.1 начертить временные диаграммы изменения выходных напряжений U_d датчиков скорости 402.139.505, 402.139.001-04 в относительных единицах (предварительно определить периоды импульсов выходного напряжения).

8.2.2 *Назначение, конструкция, принцип действия, технические характеристики датчиков скорости автомобиля.*

8.2.2.1 Назначение, конструкция, принцип действия датчика скорости автомобиля.

Датчики скорости автомобиля предназначены для преобразования частоты вращения приводного вала коробки переключения передач в частоту электрических импульсов, пропорциональных скорости движения автомобиля, или преобразования количества оборотов приводного вала в количество импульсов напряжения, пропорциональных пройденному пути. Они также используются в электронной системе управления двигателем автомобиля в режиме холостого хода для управления подачей воздуха в обход дроссельной заслонки посредством регулятора холостого хода.

Устройство датчика скорости представлено на рисунке 8.2.



1 – привод спидометра; 2 – корпус привода спидометра; 3 – датчик скорости

Рисунок 8.2 – Устройство датчика скорости

Исследуемые датчики скорости автомобиля реализованы на основании эффекта Холла. Принцип действия подобных датчиков заключается в следующем: если прямоугольную пластину из проводника или полупроводника, по ко-

тому протекает постоянный электрический ток I , внести в зону действия постоянного магнитного поля, действующего в поперечном направлении, то в третьем ортогональном направлении на боковых гранях пластины наводится электродвижущая сила, которая (по имени ее открывателя американского физика Э. Холла, 1879) названа ЭДС Холла. Индуцируемое напряжение определяется уравнением

$$U_x = \frac{k_x \cdot I_n \cdot B}{h}, \quad (8.1)$$

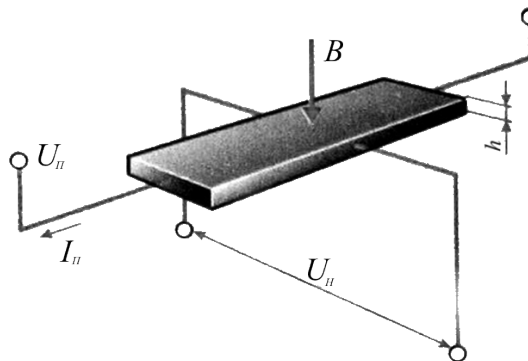
где k_x – постоянная Холла;

I_n – действующее значение электрического тока, протекающего через пластину;

B – магнитная индукция поля;

h – толщина пластины.

Направление этой ЭДС определяется по правилу левой руки. На рисунке 8.3 представлена модель элемента Холла.

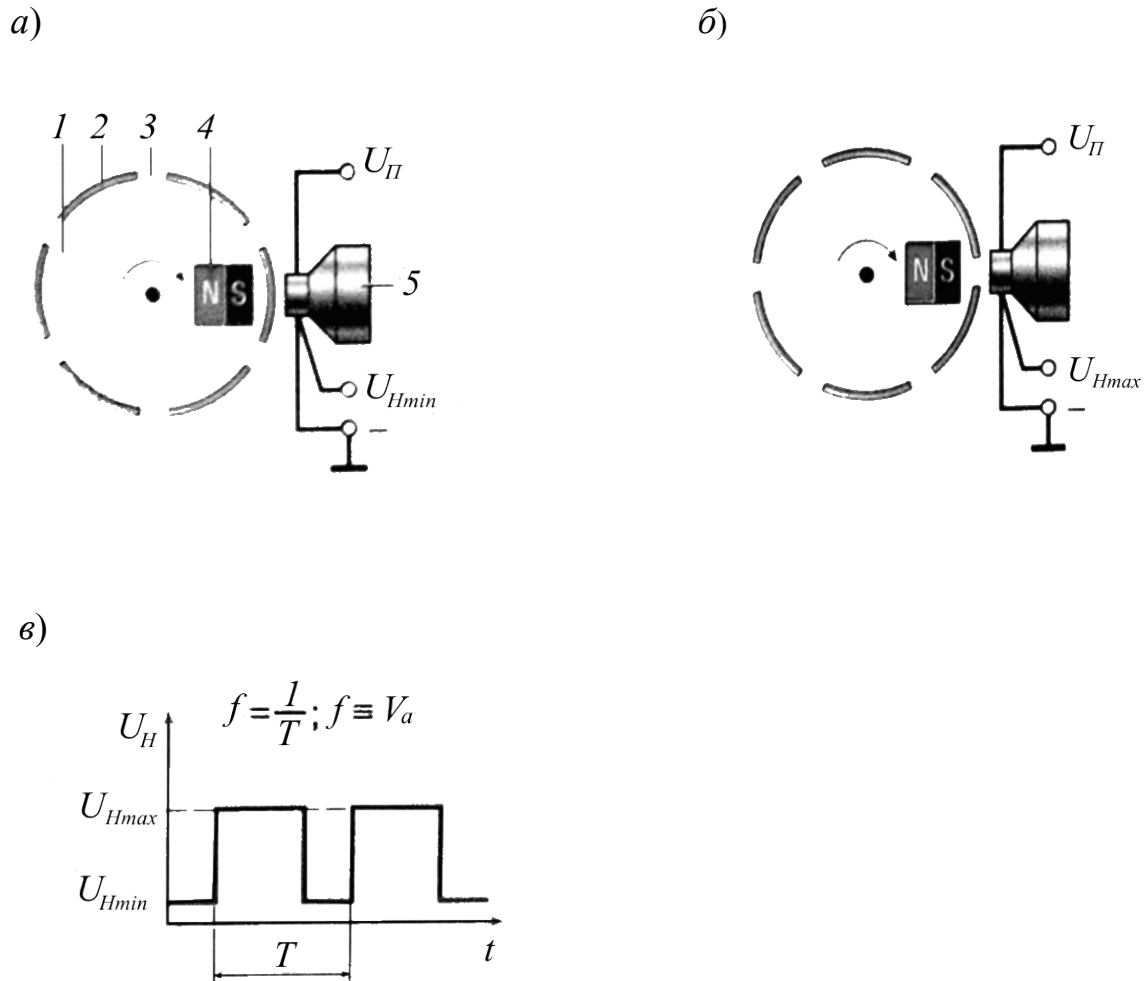


U_n – напряжение источника питания; I_n – ток источника питания; B – магнитная индукция; U_H – выходное напряжение; h – толщина пластины

Рисунок 8.3 – Модель элемента Холла

Значение выходного напряжения элемента Холла U_x весьма мало, поэтому требуется его усиление.

В датчиках скорости автомобиля магнитное поле создается неподвижным постоянным магнитом, а его изменение формируется специальным вращающимся магнитонепроницаемым экраном (аттенюатором) с прорезями – магнито-прозрачными окнами (рисунок 8.4).



а – фаза прохождения между магнитом и датчиком сегмента экрана; б – фаза прохождения между магнитами датчиком прорези экрана; в – форма выходного напряжения; 1 – экран; 2 – сегмент экрана; 3 – прорезь экрана; 4 – постоянный магнит; 5 – элемент Холла с усилительно-преобразовательным устройством; U_{Π} – напряжение питания; U_{Hmin} – минимальное значение выходного напряжения; U_{Hmax} – максимальное значение выходного напряжения; T – период импульсов выходного напряжения датчика

Рисунок 8.4 – Принцип работы датчика скорости автомобиля на эффекте Холла

При вращении экрана (многополюсного магнитного ротора) его сегменты и прорези поочередно проходят между постоянным магнитом и элементом Холла. Когда между магнитом и элементом проходит сегмент экрана, магнитное поле не пересекает токопроводящую пластину и на выходе датчика индуцируемое напряжение минимально. При прохождении между магнитом и элементом Холла магнитопрозрачной прорези магнитный поток максимальный и напряжение на выходе датчика также максимальное, т. е. на выходе датчика Холла вырабатываются импульсы напряжения с частотой, пропорциональной частоте вращения экрана и числу магнитопрозрачных прорезей (окон).

Содержание отчета

- 1 Номер и наименование лабораторной работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Задание.
- 4 Структурная схема экспериментальной лабораторной установки.
- 5 Экспериментальные и расчетные данные (см. таблицу 8.1).
- 6 Временные диаграммы изменения выходных напряжений U_d датчиков скорости 402.139.505, 402.139.001–04 в относительных единицах.
- 7 Назначение, конструкция (см. рисунок 8.2), принцип действия (см. рисунок 8.4) датчика скорости.
- 8 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Устройство лабораторной установки и назначение измерительных приборов.
- 2 Каково назначение датчика скорости в автомобиле?
- 3 Эффект Холла.
- 4 Каков принцип работы датчика скорости на эффекте Холла?
- 5 Технические характеристики и параметры датчиков скорости.
- 6 Какова конструкция автомобильного датчика скорости?

Список литературы

- 1 **Лукинов, А. П.** Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учебное пособие / А. П. Лукинов. – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 608 с.: ил.
- 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. Матвеев. – Минск: Изд-во Гревцова, 2014. – 448 с.: ил.
- 4 **Новоселов, О. Н.** Основы теории и расчета информационно-измерительных систем / О. Н. Новоселов, А. Ф. Фомин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1991. – 336 с. : ил.
- 5 **Черная, Л. Г.** Информационные устройства в мехатронике: конспект лекций [Электронный ресурс] / Л. Г. Черная. – Могилев, 2016. – Режим доступа: [http: / bru.mogilev.by](http://bru.mogilev.by). – Дата доступа: 01.02.2018.

