

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет»

Исследование датчиков информационной системы автомобиля

Методические указания к лабораторным работам
по курсу «Информационно-измерительная система автомобиля»



Пенза
Издательство
Пензенского государственного
университета
2009



УДК 629.113.006

И85

Изложена методика исследования основных датчиков информационно-измерительной и информационно-диагностической систем автомобиля на основе разработанных специализированных учебных стендов.

Методические указания подготовлены на кафедре «Электротехника и транспортное электрооборудование» и предназначены для организации лабораторного практикума студентов специальности 140607 (180800) по курсам «Информационно-измерительная система автомобилей и тракторов (АиТ)» и «Информационно-диагностическая система АиТ».

С о с т а в и т е л и : В. Н. Ашанин, Г. Ю. Кочеткова

Р е ц е н з е н т А. И. Диянов, кандидат технических наук, главный метролог ФГУП НИИФИ

Лабораторная работа № 1

Исследование датчиков температуры

Цель работы: изучение конструкции и принципа действия терморезистивных и термобиметаллических датчиков температуры, а также экспериментальное определение температурной характеристики термисторного датчика.

Основные этапы работы

- 1 Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории.
- 2 Работа в лаборатории, связанная с исследованием характеристик датчика температуры на специализированной лабораторной установке.
- 3 Обработка и анализ полученной в лаборатории информации, оформление отчета по проделанной работе.
- 4 Защита лабораторной работы.

Программа работы

1 Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории

1.1 Используя конспекты лекций, учебники и учебные пособия, настоящие методические указания, а также доступный справочный материал:

- ознакомиться с назначением датчиков температуры в электронной системе автоматического управления двигателем (ЭСАУ Д) автомобиля и информационно-измерительной системе;
- изучить конструкции и принцип действия основных типов датчиков и сигнализаторов температуры, используемых в автомобиле;
- ознакомиться с экспериментальной лабораторной установкой.

1.2 В процессе предварительной подготовки к работе в лаборатории найти ответы на контрольные вопросы методических указаний.

2 Работа в лаборатории

2.1 Экспериментально определить вольт-амперную характеристику датчика температуры ТМ 106. Для этого необходимо собрать электромонтажную схему в соответствии с рис. 1.1.

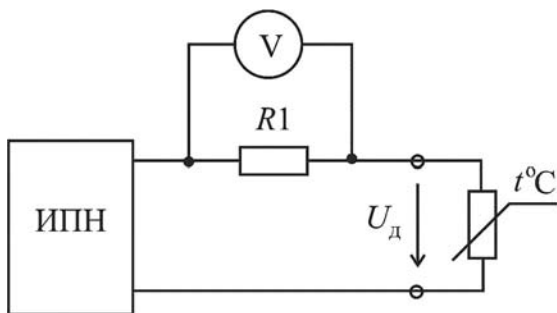


Рис. 1.1. Схема экспериментальной установки для исследования датчика температуры ТМ 106:

ИПН – источник постоянного напряжения;

R_1 – измерительный резистор;

V – вольтметр (типа ВЗ-38 или ВЗ-39)

Изменяя напряжение на выходе ИПН от 0 до 15 В через 1 В измерить напряжения на измерительном резисторе U_{R1} и на датчике $U_{д}$. По напряжению U_{R1} рассчитать ток датчика:

$$I_{д} = U_{R1} / R_1$$

Данные эксперимента занести в табл. 1.1.

Таблица.1.1

$U_{\text{ипн}}, \text{В}$	$U_{R1}, \text{В}$	$I_{д}, \text{мА}$	$U_{д}, \text{В}$

2.2 Экспериментально определить градуировочные характеристики датчиков ТМ 106 и 405.213 $R_{д}(t^{\circ})$ в диапазоне температур $t^{\circ} = (20 - 100)^{\circ}\text{C}$. Для этого необходимо собрать схему по рис. 1.2. Измерения электрических сопротивлений датчиков производить через 5°C изменения температуры. Результаты измерений занести в табл. 1.2.

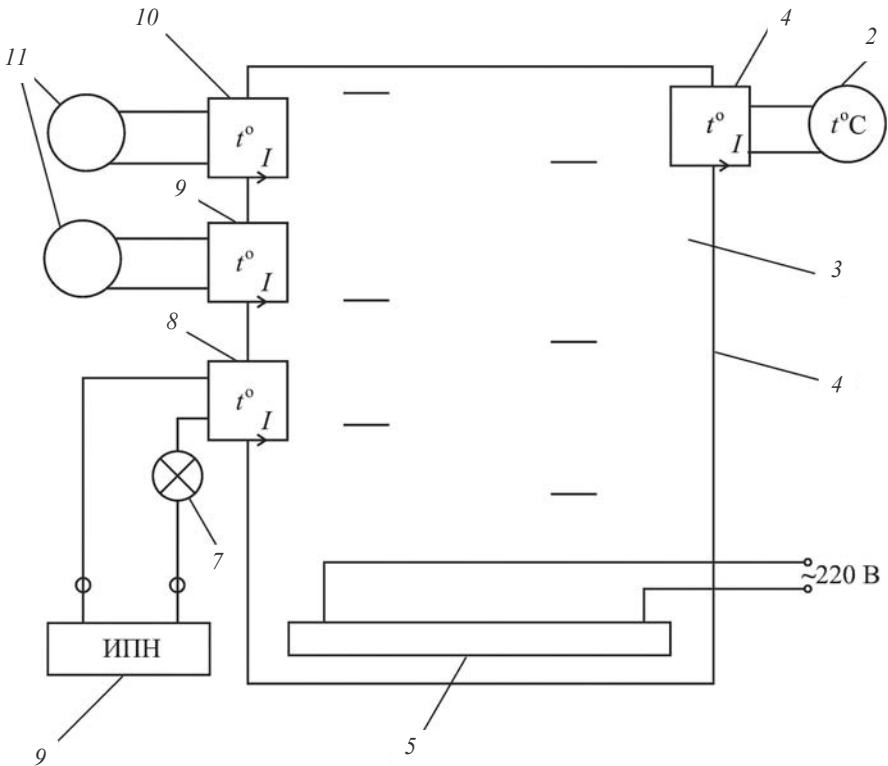


Рис. 1.2 . Устройство экспериментальной установки:
 1 – датчик температуры ТМ106; 2 – датчик температуры 405.213; 3 – датчик температуры ТМ108; 4 – датчик термометра; 5 – термометр; 6 – омметры;
 7 – жидкость; 9 – сигнальная лампа; 10 – нагревательный элемент;
 11 – источник постоянного напряжения

Таблица 1.2

t°, C	$R_{д}, Ом$	
	ТМ 106	405.213

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

2.3 Повторить измерения в соответствии с п. 2.1 для температуры $t^\circ = 90^\circ\text{C}$. Результаты измерений занести в табл. 1.2.

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

3 Обработка экспериментальных данных

3.1 По двум значениям сопротивлений датчиков ТМ 106 и 405.213 при $t_1^\circ = 40^\circ\text{C}$ и $t_2^\circ = 90^\circ\text{C}$ (см. табл. 1.2) определить значения параметров A и B аналитической зависимости сопротивления датчика от температуры, определяемой по формуле

$$R_d(t^\circ) = A e^{B/\alpha}.$$

Записать получившееся аналитическое выражение. Построить расчетную и экспериментальную характеристики $R_d(t^\circ)$ в одной системе координат. Проанализировать результаты и сделать выводы.

3.2 Вольт-амперные характеристики датчиков для различных температур $t^\circ = t_{\text{нач}}$ и $t^\circ = 90^\circ\text{C}$ построить в одной системе координат. Проанализировать их и сделать выводы.

3.3 Определить температурный коэффициент α для $t^\circ = t_{\text{min}}^\circ$ и $t^\circ = t_{\text{max}}^\circ$. Проанализировать результаты и сделать выводы.

3.4 Сделать вывод об исправности датчика ТМ 108.

4 Обработка полученных в лаборатории сведений и составление отчета.

5 Защита лабораторной работы.

Методический материал
к лабораторной работе

Описание экспериментальной установки

Лабораторная установка, представляет собой герметичную емкость 4 с жидкостью 3, температура которой может увеличиваться с помощью нагревательного элемента 5. В стенку емкости ввернуты исследуемые датчики 8, 9, 10. Температура жидкости измеряется цифровым термометром 2. Приборы 11 служат для измерения электрического сопротивления датчиков.

Назначение, принцип действия и характеристики датчиков температуры

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 – ТКС).

В исследуемых датчиках ТМ 106 и 405.213 функцию чувствительного элемента и резистивного преобразователя выполняет термистор. Отрицательным ТКС обладают полупроводниковые терморезисторы, диапазон рабочих температур которых лежит в пределах от -60 до $+180$ °С, что полностью отвечает требованиям датчиков автомобиля. Полупроводниковые терморезисторы по сравнению с металлическими имеют примерно на порядок большее значение ТКС, т. е. изменение температуры вызывает более сильное изменение их электрического сопротивления.

Датчик ТМ 106 входит в состав автомобильного логометрического термометра для измерения температуры охлаждающей жидкости и представляет собой латунный баллон 1 (рис. 1.3), 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, так как 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.

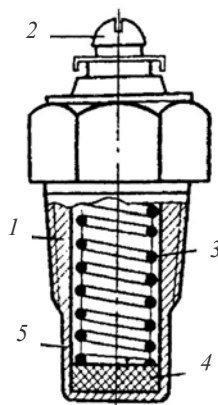


Рис. 1.3. Терморезистивный датчик температуры ТМ106:
1 – латунный баллон (корпус);
2 – зажим; 3 – токоведущая пружина; 4 – полупроводниковый терморезистор; 5 – втулка

Зависимость электрического сопротивления датчика ТМ 106 от температуры приведена в табл. 1.3 [1].

Таблица 1.3

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

Датчик 405.213 (рис. 1.4) входит в состав электронной системы автоматического управления двигателем ЭСАУ Д автомобиля.

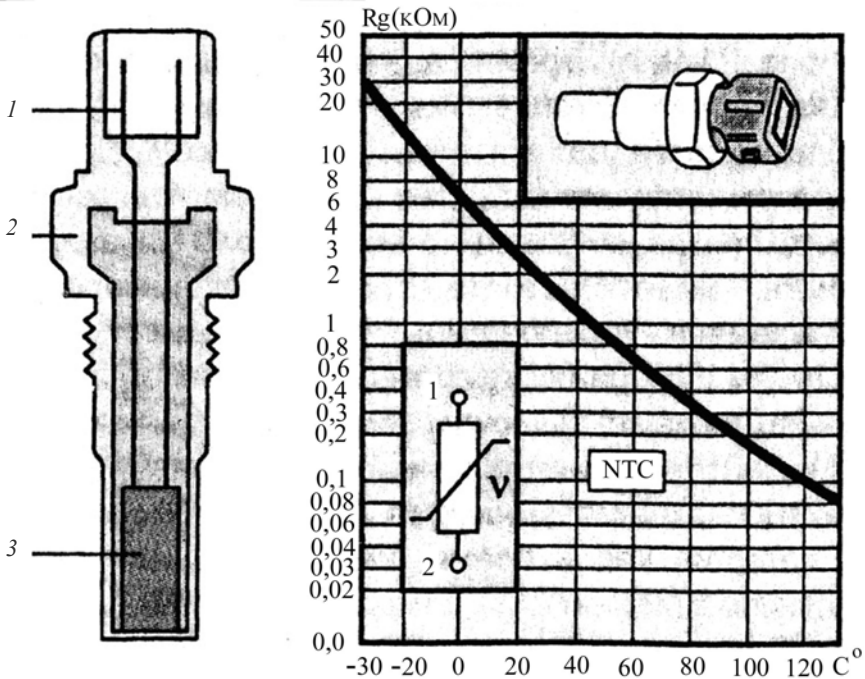


Рис. 1.4. Терморезистивный датчик температуры 405.213:
1 – электрические контакты; 2 – теплопроводный корпус; 3 – термистор

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 напря-

жения на его выходных зажимах. В зависимости от значения этого напряжения контроллер ЭСАУ Д рассчитывает режим работы двигателя

$t^{\circ} = (-25 \dots +65) \text{ }^{\circ}\text{C}$ – для холодного двигателя;

$t^{\circ} = (+65 \dots +120) \text{ }^{\circ}\text{C}$ – для прогретого двигателя.

Если температура двигателя опускается ниже $-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, то контроллер не позволяет запускать двигатель автомобиля.

Датчик ТМ 108 (рис. 1.5) используется в качестве сигнализатора температуры включения и отключения электрического вентилятора охлаждения радиатора двигателя. Основой датчика служит биметаллическая пластина, 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 контакты 3 и 4, замыкая тем самым электрическую цепь питания вентилятора.

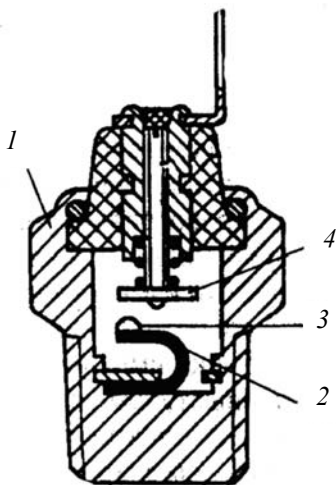


Рис. 1.5. Конструкция датчика ТМ108:

1 – корпус; 2 – термобиметаллическая пластина; 3 – подвижный контакт;
4 – неподвижный контакт

Основные характеристики датчика ТМ108 [1] приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Тип датчика	Температура включения, °С	Температура выключения, °С	Чувствительный элемент	Масса, г	Применяемость
ТМ108	87	82	Термо-биметаллическая пластина	50	Москвич-2141, -21412, ИЖ-2126
ТМ108	92	87	То же	50	ВАЗ-2104...-07
ТМ108 (66.3710)	99	94	То же	50	ВАЗ-2108...-15

Температурная зависимость сопротивления терморезистора R_t достаточно точно описывается формулой:

$$R_t(t^\circ) = A e^{B/\theta},$$

где θ – абсолютная температура;

A – коэффициент, имеющий размерность сопротивления;

B – коэффициент, имеющий размерность температуры.

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

$$\text{Поскольку } R_1 = A e^{B/\theta_1} \text{ и } R_2 = A e^{B/\theta_2}, \text{ то } B = \frac{\theta_1 \theta_2}{\theta_1 - \theta_2} \ln \frac{R_1}{R_2}.$$

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

$$A = R_1 e^{-B/\theta_1}.$$

Температурный коэффициент термистора отрицателен и уменьшается обратно пропорционально квадрату абсолютной температуры

$$\alpha = \frac{B}{\theta^2}.$$

Контрольные вопросы

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

Лабораторная работа № 2

Исследование датчиков массового расхода воздуха

Цель работы: исследование характеристик автомобильных датчиков массового расхода воздуха (ДМРВ) и приобретение практических навыков проверки их работоспособности.

Основные этапы работы

- 1 Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории.
- 2 Работа в лаборатории, связанная с исследованием характеристик датчиков на специализированной лабораторной установке.
- 3 Обработка и анализ полученной в лаборатории информации, оформление отчета по проделанной работе.
- 4 Защита лабораторной работы.

Программа работы

1 Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории

1.1 Используя конспекты лекций, учебники и учебные пособия, настоящие методические указания, а также доступный справочный материал:

– ознакомиться с назначением датчика массового расхода воздуха в электронной системе автоматического управления двигателем (ЭСАУД) автомобиля;

– изучить конструкции и принцип действия основных типов датчиков, используемых в системе управления автомобиля;

– ознакомиться с экспериментальной лабораторной установкой.

1.2 В процессе предварительной подготовки к работе в лаборатории найти ответы на контрольные вопросы методических указаний.

2 Работа в лаборатории

2.1 Подключить датчики и источники питания к передней панели стенда, как показано на рис. 2.1. Электрические переключатели на панели должны находиться в разомкнутом состоянии.

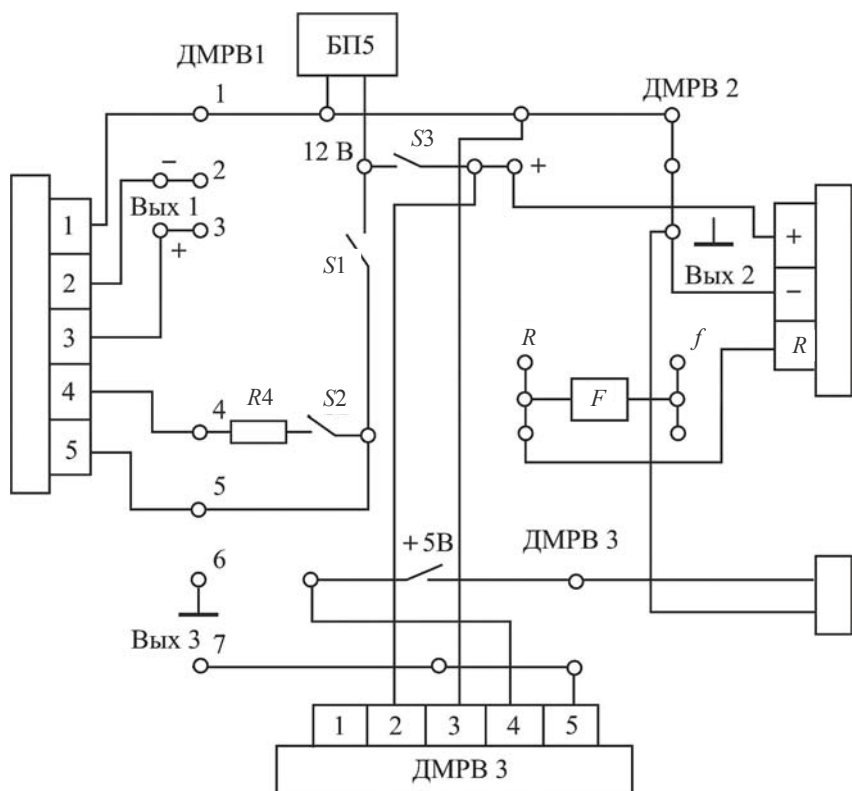


Рис. 2.1. Электромонтажная схема лабораторной установки

Подключить вольтметры к выходным разъемам датчиков ДМРВ 1 и ДМРВ 3 и частотомер к выходу формирователя импульсов F .

Подключить кабель питания воздухозаборного насоса к выходу лабораторного автотрансформатора (ЛАТРа). Установить на выходе трансформатора минимальное напряжение, для чего ручку регулировки ЛАТРа повернуть против часовой стрелки до упора.

2.2 Подключить блоки питания, измерительные приборы и ЛАТР к розеткам промышленной однофазной сети.

Замкнуть ключи $S1$, $S3$ и +5 В.

Поворачивать ручку регулировки выходного напряжения ЛАТРа до тех пор, пока на выходе ДМРВ 1 не установится напряжение $U_{\text{вых1}} = 2 \text{ В}$.

Измерить напряжение на выходе ДМРВ 3 $U_{\text{вых3}}$ и частоту на выходе ДМРВ 2 $f_{\text{вых2}}$. Результаты занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

G , кг/час	10	16	25	39	56	78
$U_{\text{вых1}}$, В	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
$U_{\text{вых3}}$, В						
$f_{\text{вых2}}$, кГц						

Провести аналогичные измерения при значениях напряжения $U_{\text{вых1}} = (2,2; 2,4; 2,6; 2,8; 3,0) \text{ В}$. Результаты измерений занести также в табл. 2.1.

2.3 Изменяя напряжение $U_{\text{вых1}}$ от 2 до 3 В и затем обратно от 3 до 2 В, измерить значения $U_{\text{вых3}}$ и $f_{\text{вых2}}$ при $U_{\text{вых1}} = 2,2 \text{ В}$ и $U_{\text{вых1}} = 2,6 \text{ В}$. Эксперимент повторить 10 раз. Результаты измерений занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

$U_{\text{вых1}} = 2,2 \text{ В}$	$U_{\text{вых3}}$, В									
	$f_{\text{вых2}}$, кГц									
$U_{\text{вых1}} = 2,6 \text{ В}$	$U_{\text{вых3}}$, В									
	$f_{\text{вых2}}$, кГц									

2.4 Выключить питание стенда, измерительных приборов и проанализировать полученные результаты измерений.

3 Обработка экспериментальных данных

3.1 По данным табл. 2.1 построить зависимости $U_{\text{вых1}}(G)$, $U_{\text{вых3}}(G)$, $f_{\text{вых2}}(G)$ в одной системе координат. Проанализировать результат и сделать выводы.

3.2 По данным табл. 2.2 построить закон распределения плотности вероятности распределения погрешности датчиков ДМРВ 2 и ДМРВ 3 для двух значений измеряемой величины. Проанализировать полученный результат и сделать выводы.

4 Обработка полученных в лаборатории сведений и составление отчета.

5 Защита лабораторной работы.

Методический материал к лабораторной работе

Описание экспериментальной установки

Структурная схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.2. Установка включает в себя цилиндрический металлический канал, в котором размещены автомобильные датчики массового расхода воздуха:

ДМРВ 1 – ИВКШ 407282000 с аналоговым выходом;

ДМРВ 2 – GM 2112-1130010 с частотным выходом;

ДМРВ 3 – HML2-4.7 0280212037 с аналоговым выходом (BOSCH).

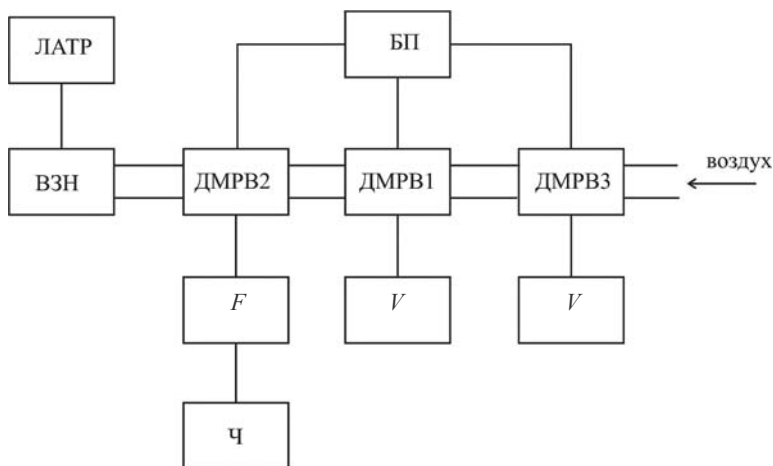


Рис. 2.2. Структурная схема экспериментальной установки:

ДМРВ1; ДМРВ2 и ДМРВ3 – датчики массового расхода воздуха;

ВЗН – воздухозаборный насос; БП – блок питания; F – формирователь импульсов;

V – вольтметр; Ч – частотомер; ЛАТР – лабораторный автотрансформатор

Для нагнетания воздушного потока в канале используется воздухозаборный насос ВЗН. Регулирование воздушного потока производится путем изменения питающего напряжения ВЗН с помощью

ЛАТРа. Выходной сигнал с ДМРВ 2 через логический формирователь импульсов F поступает на цифровой частотомер Ч. Выходные напряжения ДМРВ 1 и ДМРВ 3 измеряются с помощью цифровых вольтметров.

С блока питания БП на исследуемые датчики подается напряжение +12 В, равное номинальному напряжению бортовой сети автомобиля.

Внешний вид передней сборочной панели лабораторного стенда для исследования датчиков ДМРВ 1, ДМРВ 2 и ДМРВ 3 представлен на рис. 2.3.

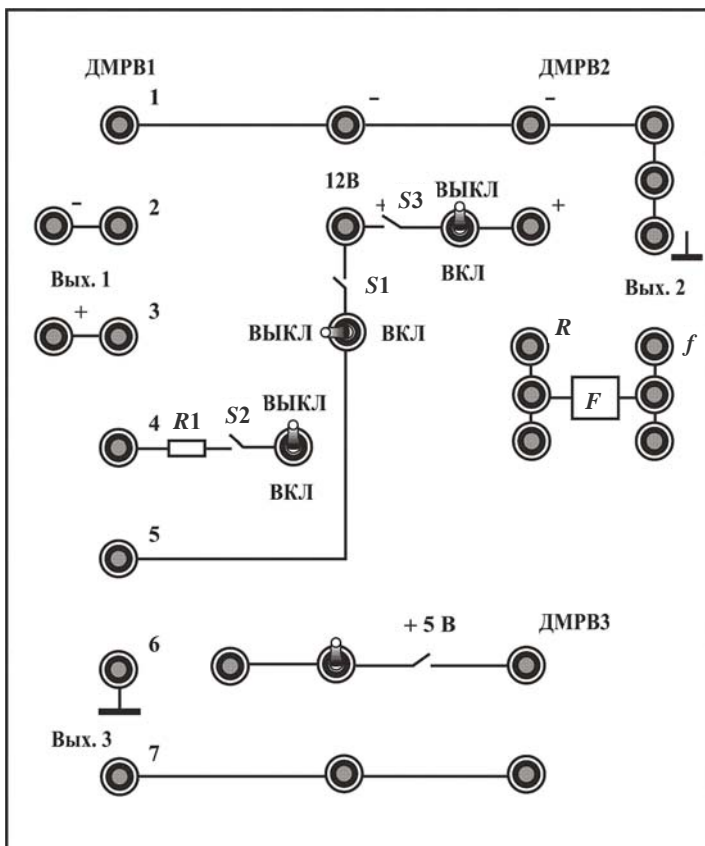


Рис. 2.3. Внешний вид передней сборочной панели лабораторной установки

Внешние выводы датчика ДМРВ1 (ИВКШ) означают:

- 1 – масса « \perp » ;
- 2 – выход ДМРВ1 «-»;
- 3 – выход ДМРВ1 «+»;
- 4 – вывод прожига платиновой нити;
- 5 – напряжение питания +12 В.

Выводы на датчике ДМРВ3 (BOSH) означают:

- 1 – свободный (не используется);
- 2 – напряжение питания +12 В;
- 3 – масса « \perp » ;
- 4 – напряжение питания +5 В;
- 5 – выходное напряжение.

Выводы на датчике ДМРВ2 (GM) означают:

- «-» – масса;
- «+» – напряжение питания +12 В;
- R* – вывод частотного сигнала датчика.

Датчик ИВКШ 407282000 (ДМРВ 1) в данной лабораторной работе является образцовым. Тарировка его градуировочной характеристики была проведена на специальном лабораторном оборудовании.

Зависимость выходного напряжения датчика от массового расхода воздуха представлена в табл. 2.1.

Методический материал к лабораторной работе

Для определения количества воздуха, идущего на заполнение цилиндров во время работы двигателя автомобиля, применяются чаще всего термоанемометрические датчики массового расхода воздуха.

Термоанемометрический метод измерения массы воздуха основан на сносе тепла движущимся воздушным потоком с нагреваемого тока терморезистора.

Сопротивление терморезистора изменяется вследствие охлаждения его воздушным потоком, что позволяет использовать терморези-

стор в качестве чувствительного элемента датчика. Обычно чувствительный элемент включается в мостовую измерительную цепь и работает в режиме заданной температуры.

В данной лабораторной работе в качестве образцового используется датчик массового расхода воздуха ИВКШ 407282000. Конструкция датчика показана на рис. 2.3.

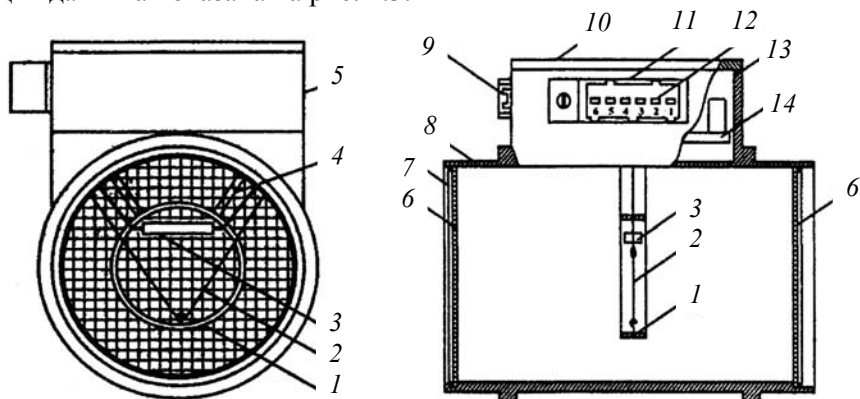


Рис. 2.3. Датчик массового расхода воздуха ИВКШ 407282000:
 1 – кольцо; 2 – платиновая нить; 3 – термокомпенсирующее сопротивление;
 4 – кронштейн крепления кольца; 5 – корпус электронного модуля;
 6 – предохранительная сетка; 7 – стопорное кольцо; 8 – корпус датчика;
 9 – винт регулировки CO; 10 – крышка; 11 – колодка; 12 – клеммы;
 13 – уплотнитель; 14 – электронный модуль

В корпусе 8 установлено кольцо 1, внутри которого расположены чувствительный элемент 2 в виде платиновой нити диаметром (0,07–0,1) мм и термокомпенсирующий резистор 3, включенные в мостовую схему электронного модуля 14 датчика. Термокомпенсирующий резистор 3 служит для уменьшения температурной погрешности датчика и представляет собой терморезистор, аналогичный платиновой нити по чувствительности, но не омываемый потоком воздуха. Электронная схема модуля поддерживает температуру платиновой нити около 150 °С. Воздух проходит через кольцо 1, охлаждая платиновую нить. Электронный модуль восстанавливает температуру нити до прежнего уровня, увеличивая ток питания мостовой схемы. Изменение тока питания моста, пропорциональное расходу

воздуха, преобразуется в изменение выходного напряжения датчика. При нулевой скорости потока воздуха выходное напряжение датчика составляет $(1,4 \pm 0,04)$ В.

Датчик имеет нелинейную зависимость выходного напряжения от массового расхода воздуха. Его чувствительность меняется от 30 мВ/(кг/ч) в начале диапазона измерения до 3 мВ/(кг/ч) в конце.

Для исключения загрязнения платиновой нити в электронном модуле предусмотрена кратковременная подача на нее повышенного напряжения для ее разогрева до 1000 °С. При этом все загрязнения сгорают (режим прожига).

В электронном модуле имеется переменный резистор, с помощью которого можно произвести регулировку (винт 9) концентрации окиси углерода в отработанных газах в режиме работы двигателя на холостом ходу. Винт регулировки сопротивления потенциометра устанавливается в среднее положение 0,45...0,55 кОм. Один полный оборот винта примерно равен 0,035 кОм. Увеличение сопротивления потенциометра достигается путем вращения винта по часовой стрелке, уменьшение – против часовой.

Исправность датчика можно проверить по схеме, представленной на рис. 2.4 [1].

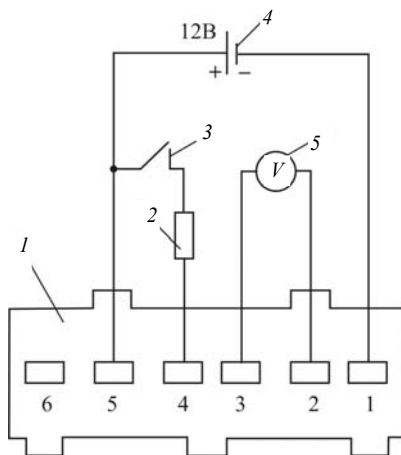


Рис. 2.4. Схема проверки работоспособности датчика ИВКШ 407282000:
1 – выходной разъем датчика; 2 – платиновая нить; 3 – выключатель; 4 – источник постоянного напряжения или аккумуляторная батарея; 5 – вольтметр

Подсоединяя провода, ориентироваться надо по выступам на колодке разъема. При подключении источника питания вольтметр 5 должен показывать напряжение $1,4 \pm 0,04$ В, а при кратковременном включении выключателя 3 напряжение должно быть около 8 В. Платиновая нить 2 при этом должна разогреваться до красного цвета.

При диагностике датчика с помощью омметра необходимо измерить электрическое сопротивление между определенными выводами датчика. Сопротивление между выводами 2–3 (выход) должно быть в диапазоне 2,9...3,5 Ом, между выводами 1–4 (прожиг) – 20...25 кОм, между 1–6 (регулятор СО) – 0...1,0 кОм.

Более качественную проверку датчика необходимо производить при работе двигателя внутреннего сгорания автомобиля диагностическим прибором, например, DST-2.

Исследуемый в лабораторной работе ДМРВ BOSCH 028212037 аналогичен по принципу действия рассмотренному. Он также выдает аналоговый сигнал для электронных блоков автоматического управления двигателем «BOSCH» и «ЯНВАРЬ-5».

Датчик массового расхода воздуха GM 2112-1130010 выдает частотный выходной сигнал, который используется контроллерами «GM» и «ЯНВАРЬ-4» для определения длительности импульса открытия форсунок.

Для определения закономерности распределения случайной погрешности необходимо произвести не менее 20 равнозначных измерений (т. е. выполненных по одной методике средствами одинаковой точности и при неизменных внешних условиях). Если считать закон распределения погрешности нормальным, что наиболее типично для ситуаций контроля, то, используя данные табл. 2.2, можно определить функцию распределения плотности вероятности случайной погрешности по формуле

$$P(\Delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-M[x])^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение $M[x]$ – математическое ожидание измеряемой величины.

Для этого вначале оценивают математическое ожидание измеряемой величины $M[x]$ (как среднее арифметическое значение ряда равнозначных измерений)

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}, \quad (2)$$

где x_i – результат i -го измерения; n – число измерений.

Затем определяют отклонение результата каждого измерения от среднего значения по числовому значению и по знаку (т.н. остаточные погрешности v_i):

$$v_i = x_i - \bar{x}. \quad (3)$$

Среднеквадратичное отклонение σ оценивают по приближенной формуле Бесселя

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{v_i^2}{(n-1)}}. \quad (4)$$

Используя полученные значения $\bar{x}(M[x])$ и $\bar{\sigma}(\sigma)$, можно построить функцию распределения плотности $p(\Delta)$ по формуле (1).

Контрольные вопросы

1 Какова сущность термоанемометрического метода измерения массы расходуемого воздуха в ДВС автомобиля?

2 Каковы конструкция и принцип действия датчиков массового расхода воздуха?

3 Как осуществляют проверку работоспособности ДМРВ ИВКШ 407282000?

4 Что такое систематическая погрешность измерения?

5 Что такое случайная погрешность измерения?

6 Какие параметры характеризуют случайную погрешность?

Лабораторная работа № 3

Исследование датчиков детонации

Цель работы: изучение принципа функционирования, конструкции пьезоэлектрического датчика детонации и экспериментальное исследование его выходных характеристик.

Основные этапы работы

- 1 Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории.
- 2 Работа в лаборатории, связанная с исследованием характеристик датчика на специализированной лабораторной установке.
- 3 Обработка и анализ полученной в лаборатории информации, оформление отчета по проделанной работе.
- 4 Защита лабораторной работы.

Программа работы

1 Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории

1.1 Используя конспекты лекций, учебники и учебные пособия, настоящие методические указания, а также доступный справочный материал:

- ознакомиться с назначением датчика детонации в электронной системе автоматического управления двигателем (ЭСАУ Д) автомобиля;
- изучить конструкции и принцип действия основных типов датчиков, используемых в автомобиле;
- ознакомиться с экспериментальной лабораторной установкой.

1.2 В процессе предварительной подготовки к работе в лаборатории найти ответы на контрольные вопросы методических указаний.

2 Работа в лаборатории

- 2.1 Получить исследуемый датчик детонации 18.3855.
- 2.2 Детально ознакомиться с устройством лабораторного стенда и органами его управления.
- 2.3 Подключить осциллограф к выходным клеммам датчика детонации.

2.4 Установить ручку реостата в среднее положение и подключить лабораторный стенд к источнику напряжения постоянного тока $U = 110$ В.

2.5 Изменяя сопротивление реостата от минимального значения до максимального, наблюдать по осциллографу за изменением формы, амплитуды и частоты выходного напряжения датчика детонации. Для двух значений сопротивления реостата (по указанию преподавателя) зарисовать осциллограммы выходного напряжения датчика с приведением масштаба по амплитуде и времени.

2.6 Выключить питание стенда и проанализировать полученные результаты измерений.

3 Обработка полученных в лаборатории сведений и составление отчета.

4 Защита лабораторной работы.

Методический материал к лабораторной работе

Описание экспериментальной установки

Лабораторная установка, схема которой изображена на рис. 3.1, 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.

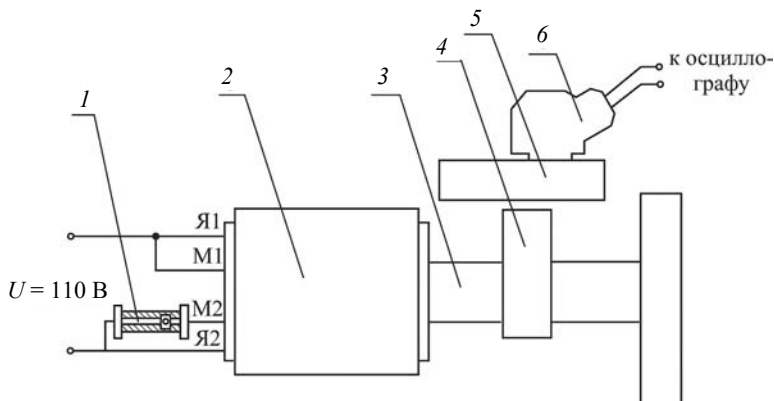


Рис. 3.1. Схема лабораторной установки:

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

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 стенда закреплена рабочая металлическая пластина, на которой установлен исследуемый датчик детонации.

Имитация детонации (взрывной ударной волны) в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) автомобиля производится на лабораторном стенде 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.

Назначение, конструкция и принцип действия датчика детонации

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

В системах управления ДВС применяются различные датчики контроля детонации: датчики температуры, давления, света, возбуждаемого при воспламенении газовой смеси, и др. Основными критериями при выборе типа датчика являются точность и достоверность показаний, стоимость, надежность и габариты. Наиболее полно всему этому комплексу требований удовлетворяют вибрационные датчики детонации, предназначенные для регистрации вибрационных колебаний корпуса ДВС.

Чаще всего 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). Это объясняется, в частности, тем, что пьезокерамика обладает высокой химической стойкостью при повышенных температурах, высокой пьезочувствительностью и небольшой стоимостью.

Пьезоэлектрическими называются кристаллы и текстуры, электризирующиеся под действием механических напряжений (прямой пьезоэффект) и деформирующиеся в электрическом поле (обратный пьезоэффект). В датчиках детонации используется прямой пьезоэффект. При механическом воздействии МВ (рис. 3.2) на пластину пьезокристалла ПК на токопроводящих покрытиях появляется разность электрических потенциалов $U_{\text{вых}}$, значение которой пропорционально силе механического воздействия.

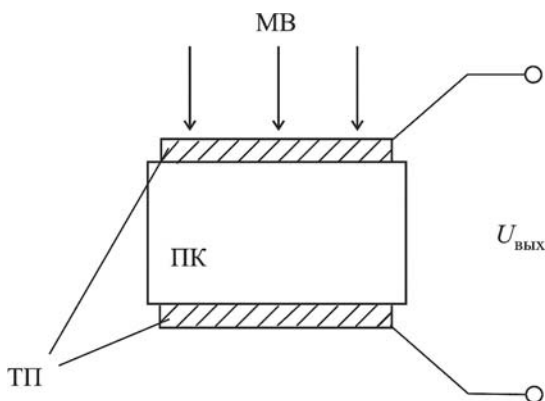


Рис. 3.2. Принцип действия пьезоэлектрического датчика:
МВ – механическое воздействие; ТП – токопроводящие покрытия;
ПК – пьезокристалл.

Достоинствами пьезоэлектрических преобразователей являются малые геометрические размеры, простота конструкции, надежность в работе, возможность измерения быстропротекающих процессов. В частности, их рабочий диапазон частот составляет от 0,1 Гц до 20 кГц. Амплитудная характеристика линейна в динамическом

диапазоне до 120 дБ. Они не требуют источника питания, поскольку являются преобразователями генераторного типа, не имеют подвижных деталей, что гарантирует исключительную долговечность.

Упрощенная конструктивная схема пьезоэлектрического датчика детонации представлена на рис. 3.3. Под действием инерционных сил, создаваемых инерционной массой 2, деформируется пьезоэлемент 1, на металлизированных обкладках которого в результате прямого пьезоэффекта возникают электрические заряды, передаваемые во внешнюю цепь с помощью электрических выводов.

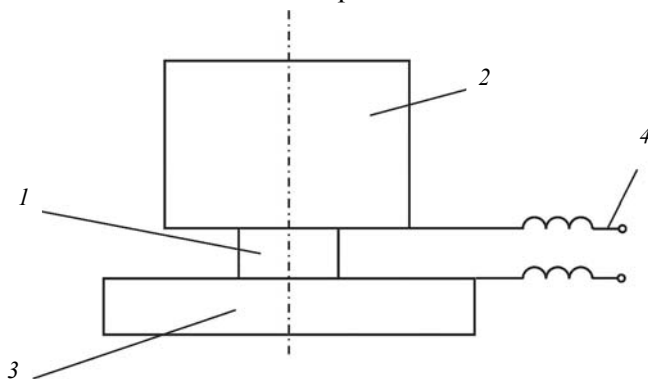


Рис. 3.3. Упрощенная конструкция датчика детонации:
1 – пьезоэлемент; 2 – инерционная масса; 3 – основание;
4 – электрические выводы

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

Среди всей совокупности датчиков детонации по режиму работы выделяют преобразователи широкополосного, резонансного и полурезонансного 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 различными 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 датчиков (широкая полоса пропускания) и резонансных (усиление информационного сигнала).

Конструкция исследуемого широкополосного пьезоэлектрического датчика и его установка на двигатель представлены на рис. 3.4.

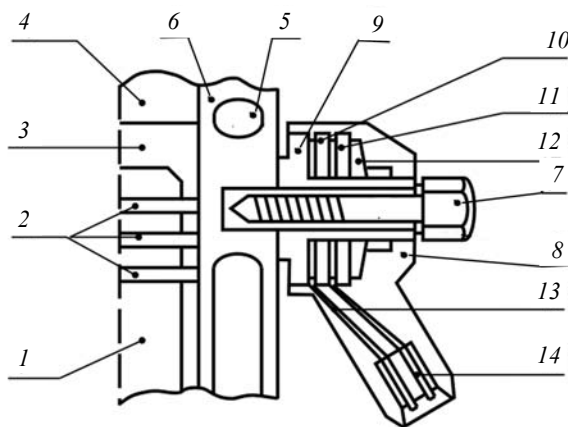


Рис. 3.4. Конструкция датчика детонации широкополосного типа:
1 – поршень ДВС; 2 – поршневые кольца; 3 – камера сгорания; 4 – головка блока цилиндров; 5 – охлаждение блока; 6 – блок цилиндров; 7 – натяжной болт;
8 – корпус датчика; 9 – прижимная втулка; 10 – пьезоэлемент датчика;
11 – гравитационная (инерционная) масса датчика; 12 – упругая шайба;
13 – контактные кольца; 14 – электрические контакты

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.

При детонации в специфическом спектре частот (обычно 6–12 кГц) в выходном сигнале датчика появляется переменная составляющая с высокой амплитудой. Выделяя эту частотную область с помощью полосового фильтра электронного блока управления двигателем, получают сигнал для распознавания детонации. На рис. 3.5 показан вариант выходного сигнала датчика детонации.

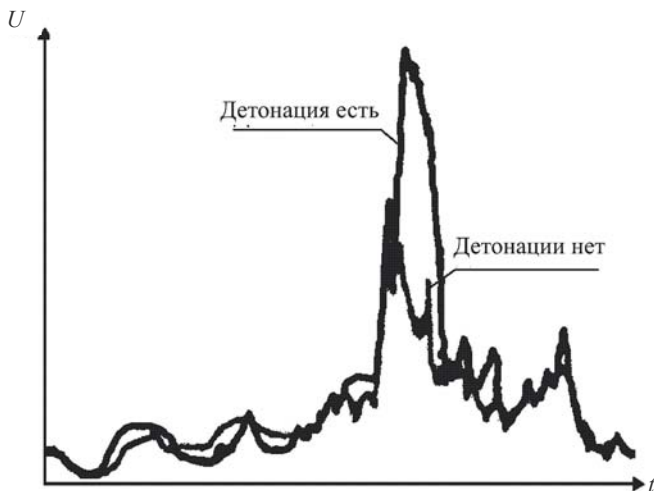


Рис. 3.5. Возможные виды выходного напряжения датчика детонации при постоянной частоте вращения коленчатого вала ДВС при наличии и отсутствии детонации

Распознавание детонации 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 пре-

вышает типовой уровень. На рис. 3.6 представлены временные диаграммы, иллюстрирующие работу системы контроля детонации ДВС.

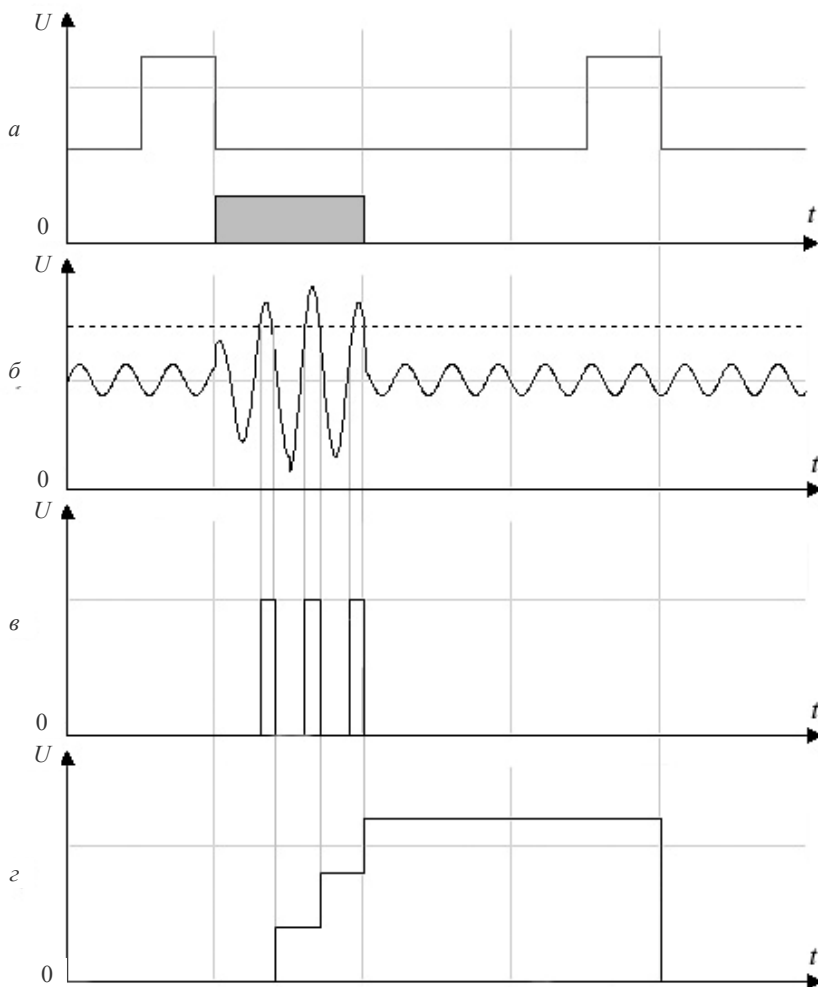


Рис. 3.6. Временные диаграммы работы системы контроля детонации:
 a – сигнал момента зажигания; $б$ – выходной сигнал датчика детонации;
 $в$ – сигнал обнаружения детонации; $г$ – сигнал коррекции угла опережения зажигания

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 (рис. 3.7).

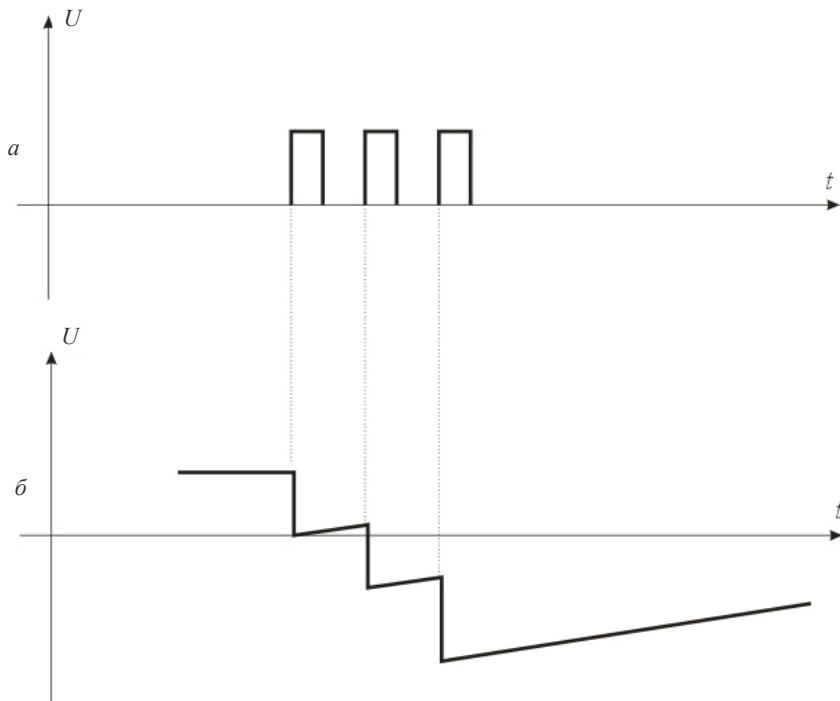


Рис. 3.7. Алгоритм изменения угла опережения зажигания ДВС при обнаружении детонации:
 a – сигнал обнаружения детонации;
 b – изменение угла опережения зажигания

В табл. 3.1 приведены основные функциональные и эксплуатационные характеристики ДД различных отечественных и зарубежных фирм [2].

Таблица 3.1

Характеристика	Тип ДД и фирма-производитель				
	широкополосные		резонансные		резонансно-широкополосные
	Bosh, ФРГ	GT305, Уральский ЭМЗ	D2, "Olson", США	GT300 УЭМЗ	DR 562, General motors corp., США
Коэффициент преобразования ускорения в электрическое напряжение, мВ/g	28	32	300	1000	1000
Рабочий диапазон частот, кГц	4–10	4–10	6,6–6,9	7,3–7,7	5,5–6,4
Неравномерность АЧХ в рабочем диапазоне частот, дБ	±1,5	±1	±3	±3	±3
Собственная электрическая емкость, нФ	1	1	3	6	3
Основная резонансная частота, кГц	>22	>22	6,8	7,5	6
Максимальная рабочая температура, °С	125	150	125	150	125
Габариты, мм	∅28×18	∅28×18	Под ключ 24×40	Под ключ 24×18	∅35×52
Тип соединения с ЭСАУ Д	Двухпроводное	Двухпроводное	Однопроводное	Однопроводное	Однопроводное

Контрольные вопросы

- 1 Объясните устройство лабораторной установки.
- 2 Что такое детонация?
- 3 Каковы причины возникновения и необходимости контроля детонации в ДВС?
- 4 На каких частотах проявляется детонация в ДВС?
- 5 Где может устанавливаться пьезоэлектрический датчик детонации?
- 6 В чем сущность пьезоэффекта?
- 7 Приведите и обоснуйте 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?

Лабораторная работа № 4

Исследование датчика скорости

Цель работы: изучение конструкции и принципа действия датчика скорости автомобиля, а также экспериментальное определение его характеристик.

Основные этапы работы

- 1 Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории.
- 2 Работа в лаборатории, связанная с исследованием характеристик датчика скорости на специализированной лабораторной установке.
- 3 Обработка и анализ полученной в лаборатории информации, оформление отчета по проделанной работе.
- 4 Защита лабораторной работы.

Программа работы

1 Внеаудиторная подготовка к работе в лаборатории

1.1 Используя конспекты лекций, учебники и учебные пособия, настоящие методические указания, а также доступный справочный материал:

- ознакомиться с назначением датчика скорости автомобиля;
- изучить конструкции и принцип действия основных типов датчиков скорости, используемых в автомобиле;
- ознакомиться с экспериментальной лабораторной установкой.

1.2 В процессе предварительной подготовки к работе в лаборатории найти ответы на контрольные вопросы методических указаний.

2 Работа в лаборатории.

2.1 Экспериментально определить передаточную характеристику датчика. Для этого собрать схему в соответствии с рис. 4.1, подключив источник постоянного напряжения, магазин сопротивлений и осциллограф к соответствующим выводам сборочной панели лабораторной установки.

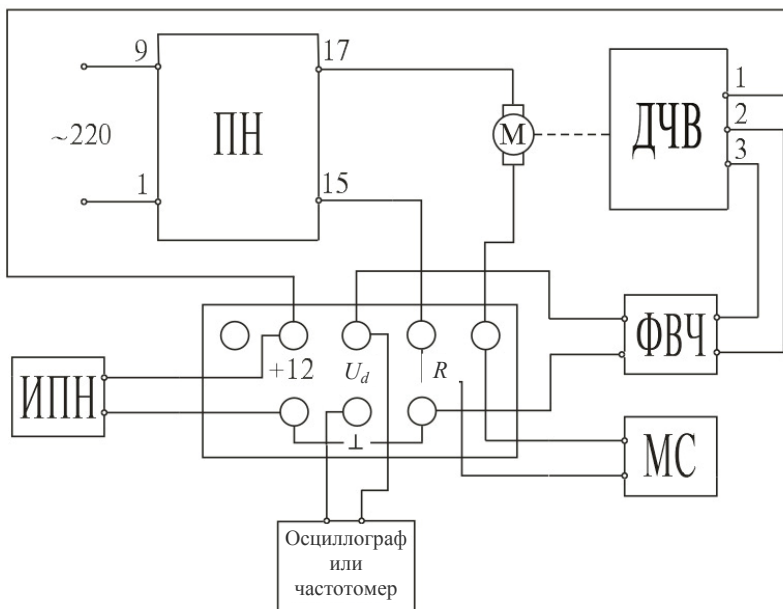


Рис. 4.1. Структурная схема лабораторной установки:
 ИПН – источник постоянного напряжения; ПН – преобразователь напряжения;
 ДС – датчик скорости автомобиля; ФВЧ – фильтр верхних частот;
 МС – магазин сопротивлений

2.2 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.

2.3 Зарисовать осциллограммы выходного напряжения U_d датчика частоты скорости для двух заданных преподавателем сопротивлений МС.

2.4 Произвести исследование зависимости выходного сигнала датчика от уровня напряжения бортовой сети автомобиля. Для этого необходимо изменить напряжение питания датчика на $\pm 10\%$ (+1,2 В и -1,2 В) относительно номинального и зарисовать в масштабе осциллограммы выходного напряжения датчика при тех же значениях со-

противления магазина. По осциллограммам определить значения напряжения и частоты выходного напряжения датчика.

2.5 Подключить к выходу исследуемого датчика цифровой частотомер. Для 10...15 значений заданных преподавателем сопротивлений МС, изменяя частоту вращения вала электрического двигателя, измерить частоту F изменения выходного напряжения U_d датчика.

Данные измерения занести в табл. 4.1

Таблица 4.1

$R, \text{ Ом}$								
$F \text{ и } U_d, \text{ Гц}$								

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

3 Обработка экспериментальных данных

3.1 Проанализировать зарисованные осциллограммы выходного напряжения датчика и сделать выводы.

3.2 Построить график зависимости выходной частоты F от сопротивления магазина и сделать выводы.

4 Обработка полученных в лаборатории сведений и составление отчета.

5 Защита лабораторной работы.

Методический материал к лабораторной работе

Описание экспериментальной установки

Структурная схема лабораторной установки представлена на рис. 4.1. Она включает в свой состав два источника питания: преобразователь напряжения ПН и источник постоянного напряжения ИПН. 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. Меняя 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 лабораторного стенда.

Назначение, принцип действия и характеристики датчиков скорости автомобиля

Датчик скорости автомобиля предназначен 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. Он так же используется в электронной системе управления двигателем автомобиля в режиме холостого хода для управления подачей воздуха в обход дроссельной заслонки посредством регулятора холостого хода.

Датчик скорости автомобиля реализован на основании эффекта Холла. Принцип действия подобных датчиков заключается в следующем: если прямоугольную пластину из проводника или полупроводника, по которому 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 г.) названа ЭДС Холла. Индуцируемое напряжение определяется уравнением

$$U_x = \frac{K_x IB}{h},$$

где K_x – постоянная Холла $\left[\frac{\text{М}^2}{\text{А}} \right]$; I – действующее значение электрического тока, протекающего через пластину; B – магнитная индукция поля; h – толщина пластины.

Направление этой ЭДС определяется по правилу левой руки. На рис. 4.2 показана модель элемента Холла.

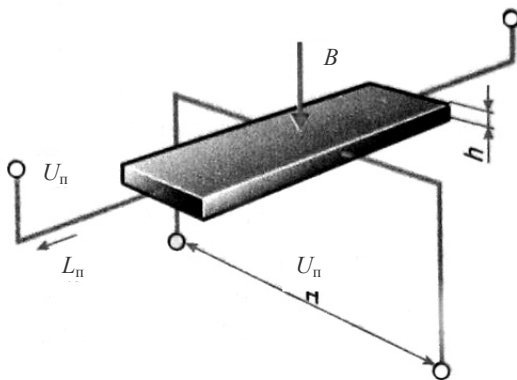


Рис. 4.2. Модель элемента Холла,:

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

Чувствительность элемента Холла зависит от соотношения между длиной и шириной пластины и повышается при уменьшении ее толщины. На практике толщина h пластины находится в диапазоне 1...100 мкм. Значение выходного напряжения элемента Холла U_x весьма мало, что на практике требует его усиления.

Параметры полупроводниковых материалов, используемых в качестве элемента Холла, приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Наименование параметра	Значение параметра для элемента				Погрешность измерения
	GaAs		InSb		
	Не менее	Не более	Не менее	Не более	
Чувствительность – γ , В/АТ	120	200	20	40	–
Номинальный ток управления – $I_{ном}$, мА	–	4	–	10	$\pm 0,01$ мА
Входное сопротивление – $R_{вх}$, кОм	0,5	1,1	0,005	0,03	–
Выходное сопротивление – $R_{вых}$, кОм	0,7	2,0	0,005	0,06	–
Остаточное напряжение – U_0 , мВ	–12	+12	–1	+1	–
Температурный коэффициент сопротивления – ТКС, % град	0,1	0,15	0,1	0,2	± 15 %
Температурный коэффициент остаточного напряжения – TKU_0 , % град	–	0,3	–	0,2	± 10 %
Рабочий диапазон температур, °С	–60	+150	–60	+80	–

Как следует из вышеприведенного выражения для напряжения на выходе элемента Холла, оно пропорционально магнитной индукции B . Если магнитные силовые линии поля перекрыть в зазоре магнитонепроницаемым экраном, то ЭДС Холла исчезнет. Если экран убрать, то индуцируемая ЭДС возникнет вновь.

На практике в датчиках скорости автомобиля магнитное поле создается неподвижным постоянным магнитом, а его изменение формируется специальным вращающимся магнитонепроницаемым экраном (аттенуатором) с прорезями – магнитопрозрачными окнами (рис. 4.3).

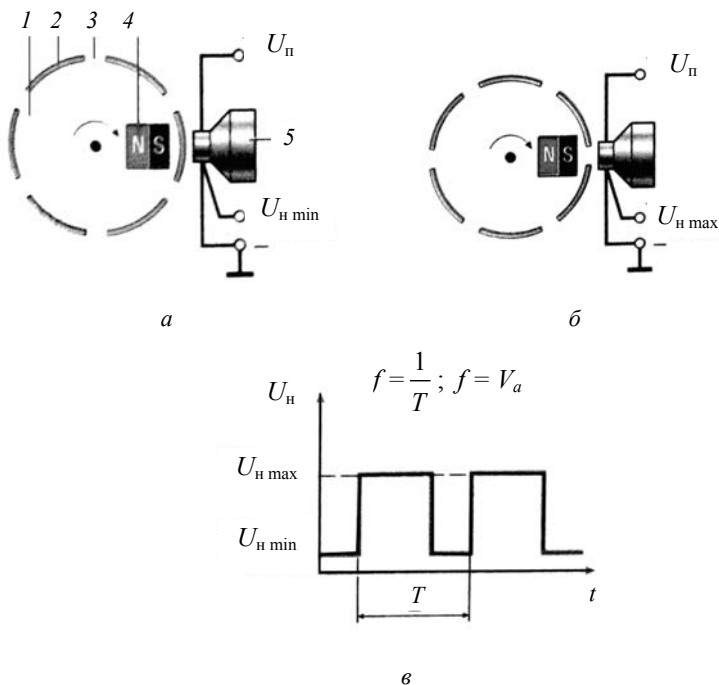


Рис. 4.3. Принцип работы датчика скорости автомобиля на эффекте Холла: *a* и *б* – фазы прохождения между магнитом и датчиком сегмента и прорези экрана соответственно; *в* – форма выходного напряжения; 1 – экран; 2 – сегмент экрана; 3 – прорезь экрана; 4 – постоянный магнит; 5 – элемент Холла с усилительно-преобразовательным устройством; $U_{\text{п}}$ – напряжение питания; $U_{\text{н min}}$ и $U_{\text{н max}}$ – минимальное и максимальные значения выходного напряжения; T – период выходного напряжения датчика

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 магнито-прозрачной прорези магнитный поток максимальный и напряжение на выходе датчика так же максимальное, т. е. на выходе датчика Холла вырабатываются импульсы напряжения с частотой, пропорциональной частоте вращения экрана и числу магнито-прозрачных прорезей (окон).

Устройство датчика скорости представлено на рис. 4.4.

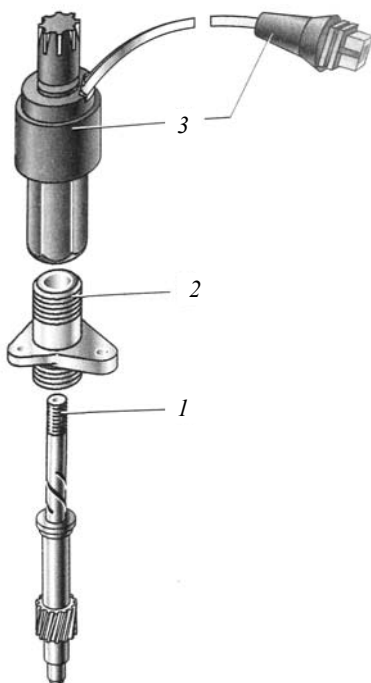


Рис. 4.4. Устройство датчика скорости:
1 – привод спидометра; 2 – корпус привода спидометра;
3 – датчик скорости

Технические характеристики датчиков скорости автомобиля, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Наименование	№ по каталогу автозавода	Колво импульсов	Разъем	Вал *	Резьба	Применяемость
402.139.505	301.3843	6	ОСТ	П	M18	Автомобили с ЭСУД на основе контроллера Bosch 1.5.4, M1.5.4N, МР 7.0, Январь 5.1, Январь 5.1.1.
402.139.505-01	311.3843	6	AMP	П	M18	Автомобили с ЭСУД на основе контроллера GM, Январь 4.1.
402.139.505-02	28.3843	10	ОСТ	П	M18	ВАЗ2110 (карбюраторный ДВС)
402.139.001	34.3843	6	ОСТ	Н	M18	ГАЗ 3110
402.139.001-01	341.3843	6	AMP	Н	M18	ГАЗ 3110
402.139.001-02	343.3843	6	ОСТ	Н	M18	ВАЗ 2110, 2111, 2112 и 2108, 2115 с электронным спидометром (кроме ЭСАУ Д GM и Январь-4)
402.139.001-03	342.3843	6	Космодемьян.	Н	M18	ГАЗ 3110, УАЗ 3160, УАЗ 3165
402.139.001-04	344.3843	10	ОСТ	Н	M18	ГАЗ 3110
402.139.001-05		6	ОСТ	Н	M22	ИЖ 2126, 2117 с ДВС УЗАМ

* П – проходной; Н – непроходной.

Технические параметры вышеприведенных датчиков скорости приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

№	Параметр	Значение
1	Номинальное напряжение питания, В	12
2	Рабочий диапазон напряжения питания, В – по цепи контакта «1» – по цепи контакта «2» при токе нагрузки не более 20 мА	От 7 до 15 От 5 до 15
3	Максимальный ток потребления по цепи контакта «1» при напряжении питания 13,5±0,2 В не более, мА	15
4	Рабочий диапазон температуры окружающей среды, °С	От – 40 до + 125

Контрольные вопросы

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

Список литературы

1. Литвиненко, В. В. Автомобильные датчики, реле и переключатели. Краткий справочник / В. В. Литвиненко, А. П. Майструк. – М. : ЗАО «КЖИ "За рулем", 2004. – 176 с.
2. Баженов, А. А. Проектирование датчиков детонации для систем управления автомобильным двигателем / А. А. Баженов, В. И. Яровиков. – Саров : РФЭЦ-ВНИИЭФ, 2001. – 274 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Исследование датчиков температуры	3
Лабораторная работа № 2. Исследование датчиков массового расхода воздуха	12
Лабораторная работа № 3. Исследование датчиков детонации	22
Лабораторная работа № 4. Исследование датчика скорости	33
Список литературы	42