Глава 4
Датчики

Датчики это электрические/электронные устройства, которые преобразуют различные характеристики физических явлений в электрические сигналы. Это своеобразные «органы чувств».

В современном автомобиле используется огромное количество датчиков. Одно только их перечисление займет несколько страниц, поэтому мы рассмотрим лишь основные принципы работы датчиков и физические эффекты, на которых основана их работа.

1. Классификация датчиков по типу выходного сигнала

По типу выходного сигнала датчики могут быть подразделены на четыре группы:

a) датчики типа "Включен – выключен" (переключатели)
b) датчики переменного сопротивления
c) частотные датчики
d) датчики, вырабатывающие напряжение.

(a) Датчики типа "Включен – выключен" (переключатели)

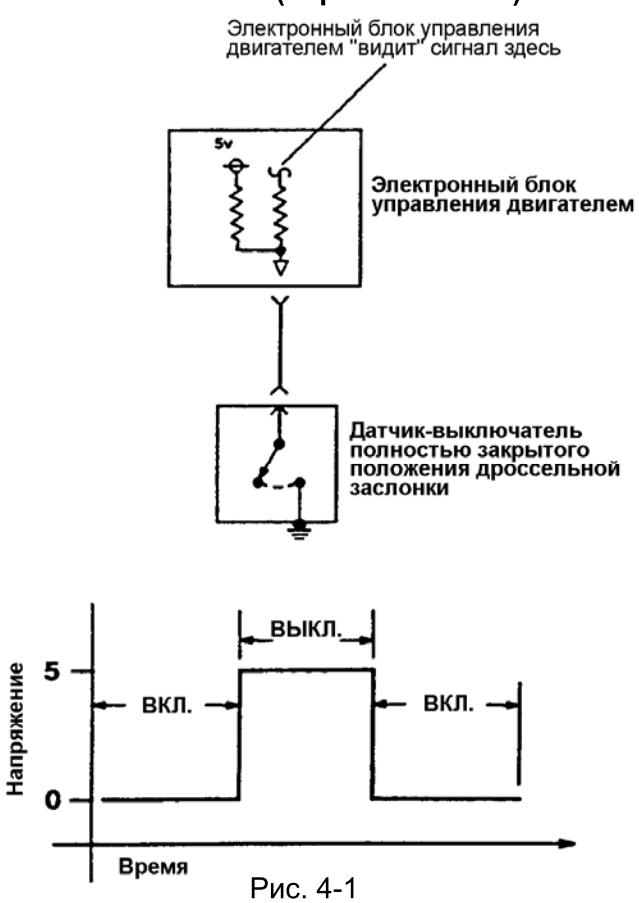


Рис. 4-1

Датчики типа «Включен – выключен», которые, в принципе, относятся к группе выключателей, замыкают или размыкают электрическую цепь, когда некоторая физическая величина достигнет определенного значения. Они обнаруживаются в таких устройствах, как выключатель кондиционера, датчик-выключатель полностью закрытого положения дроссельной заслонки, датчик-выключатель давления рабочей жидкости усилителя рулевого управления, выключатель заднего хода, контакторы дверей и пр.

Электрическое сопротивление такого датчика изменяется от нулевого значения при замкнутых контактах до бесконечности при разомкнутых, и следовательно возможно только два уровня напряжения – низкий или высокий.

(b) Датчики переменного сопротивления

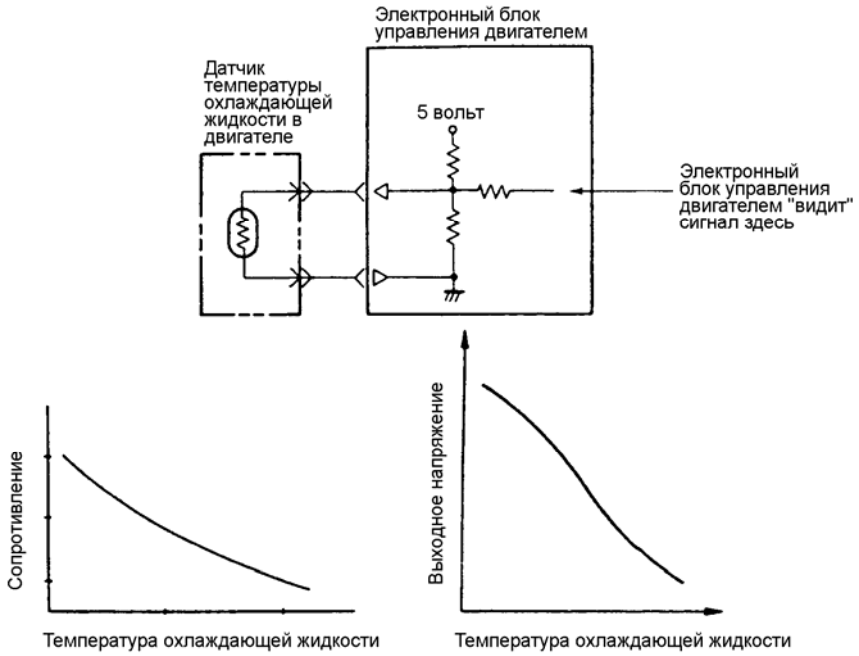


Рис. 4-2

Принцип действия датчиков переменного сопротивления состоит в изменении их сопротивления в зависимости от изменения некоторой физической величины (положения, температуры, давления и т.д). Датчики переменного сопротивления изготавливаются на основе потенциометров, термисторов, тензоэлементов и, как правило, применяются в качестве датчиков положения дроссельной заслонки, датчиков температуры охлаждающей жидкости в двигателе и датчиков температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя, датчиков давления и пр.

(c) Частотные датчики

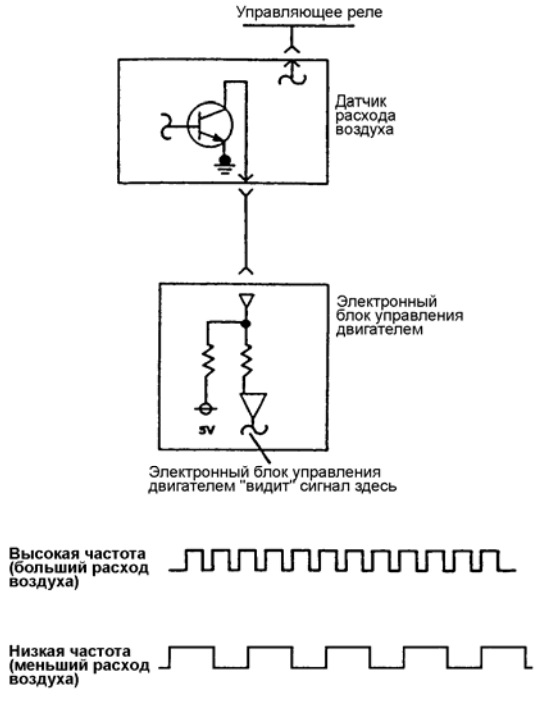


Рис. 4-3

Частотные датчики обычно используются в случаях необходимости точного измерения параметров или физических величин, таких как расход воздуха, скорости вращения различных валов и т.д. Примером могут служить датчик расхода воздуха, датчик положения коленчатого вала, датчик положения распределительного вала, датчик скорости автомобиля и т.д.

Выходной сигнал таких датчиков представляется обычно в форме синусоиды или прямоугольных импульсов(меандр) с изменяющейся частотой. Измерение частоты позволяет измерить значение параметра.

(d) Датчики, вырабатывающие напряжение

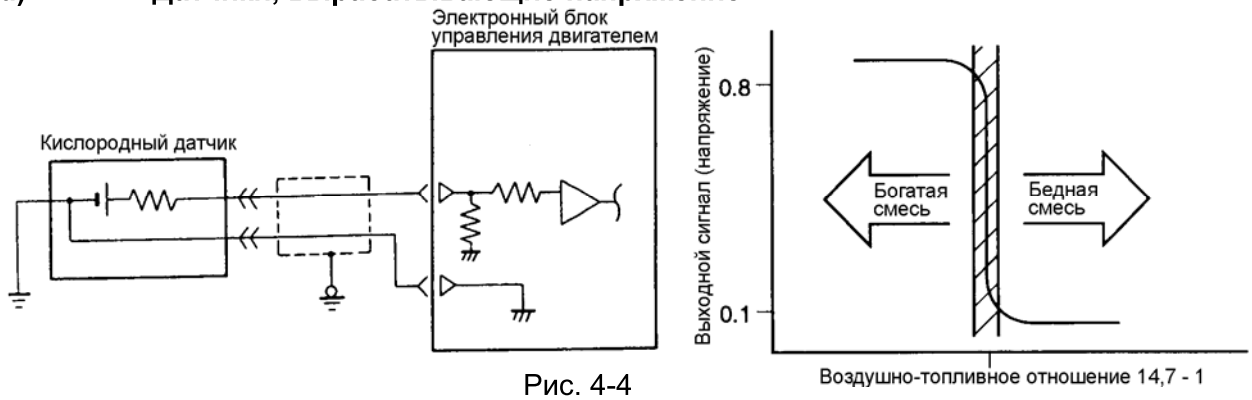


Рис. 4-4

Датчики, вырабатывающие напряжение, это датчики, не требующие источника питания для своей работы. В качестве примера можно привести датчик детонации, кислородный датчик и индукционный датчик. На их выходе появляется напряжения, величина которого изменяется в соответствии с измеряемым показателем. Например, сигнал кислородного датчика может изменяться от 0 В до 1,0 В в зависимости от величины воздушно-топливного отношения (состава смеси) в процессе сгорания.

2. Классификация датчиков по принципу измерения

По принципу измерения датчики можно разделить на следующие группы:

a) температурные датчики
b) резистивные датчики (контактного типа)
c) датчики на основе эффекта Холла
d) датчики на основе магниторезистивного элемента
e) индукционные (генераторные) датчики
f) индуктивные датчики
g) пьезоэлектрические датчики
h) фотоэлектронные (оптические) датчики
i) емкостные (конденсаторные) датчики

(a) Термодатчики

Это датчики, работа которых основана на свойстве проводников и полупроводников, изменять своё сопротивление при изменении температуры.

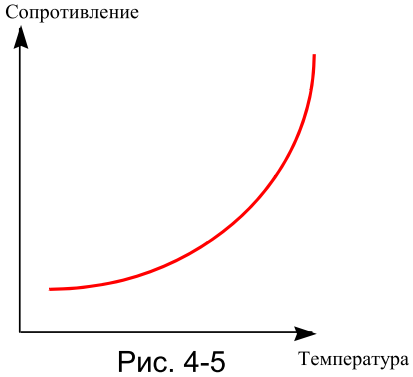


Рис. 4-5

Датчики на основе проводников обладают положительным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Их сопротивление увеличиваются с увеличением температуры.

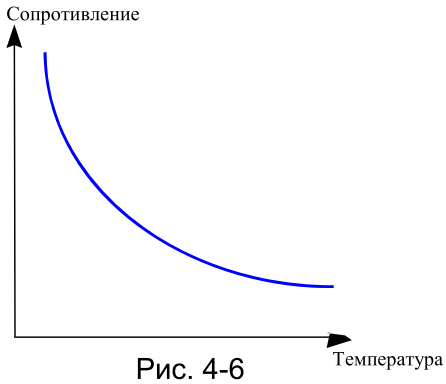


Рис. 4-6

Датчики на основе полупроводников обладают отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Их сопротивление уменьшается с увеличением температуры.

По сравнению с терморезисторами на основе проводников, полупроводниковые обладают примерно в 10 раз большим ТКС, т. е. изменение температуры вызывает большее изменение сопротивления.

Сопротивление терморезистора нелинейно зависит от температуры.

(b) Резистивные датчики (контактного типа)

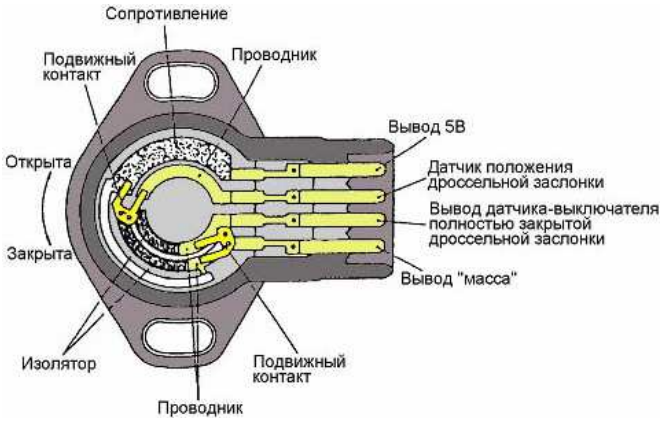


Рис. 4-7

Основой датчика является пленочный резистор с несколькими контактными дорожками, по которым перемещаются упругие токосъемные элементы.

К недостаткам датчика можно отнести его невысокую надежность, а к достоинствам простоту и дешевизну.

Датчики такого типа, как правило, применяются в качестве датчиков положения. В последнее время вытесняются датчиками бесконтактного типа.

(c) Датчики на основе эффекта Холла

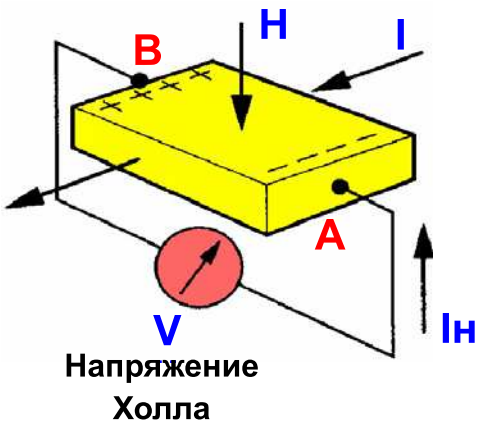


Рис. 4-8

Датчик представляет собой полупроводниковую пластину. При прохождении тока через такую пластину при отсутствии магнитного поля напряжение на поперечных торцах пластины (A и B) отсутствует. Однако если поднести к ней постоянный магнит, то на торцах появляется напряжение.

Если между магнитом и датчиком поместить перемещающийся экран с прорезями, то мы получим генератор Холла.

Датчики Холла применяются в качестве датчиков положения, частоты вращения валов и др.

(d) Датчики на основе магниторезистивного элемента

Датчик на основе магниторезистивного элемента основан на свойстве некоторых материалов, изменять свое сопротивление, при воздействии внешнего магнитного поля.

На рисунке изображена пластинка ферромагнитного материала, называемого пермаллой (20% Fe и 80% Ni).

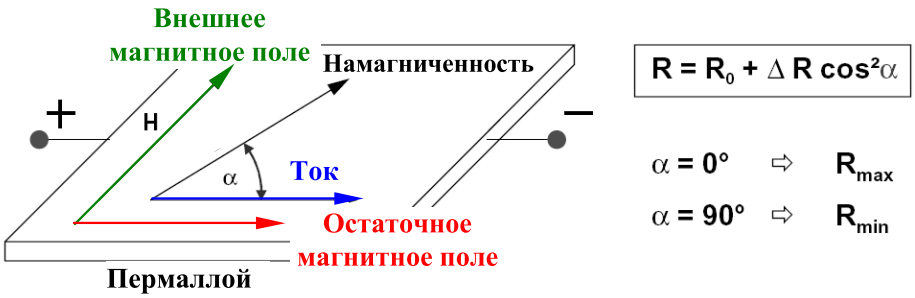


Рис. 4-9

Этот материал обладает способностью намагничиваться и имеет свое магнитное поле, силовые линии которого направлены параллельно протеканию тока, когда внешнее магнитное поле отсутствует. Если воздействовать на эту пластину внешним магнитным полем, силовые линии которого направлены перпендикулярно направлению движения тока, то суммарный вектор намагниченности будет менять свое направление, поворачиваясь на угол α. Сопротивление пластины будет изменяться в соответствии с этим углом.

Датчики, выполненные на основе магниторезистивного элемента, обладают рядом преимуществ:

- величина сигнала на выходе датчика не зависит от частоты вращения, возможно измерение очень низких частот вращения (вплоть до 0 Гц)
- величина сигнала на выходе датчика выше, чем у датчиков Холла, и это позволяет увеличить воздушный зазор и упростить конструкцию подвижной мишени
- более дешевый, чем датчик Холла.

Датчиков на основе MRE – это различные датчики вращения, такие как датчики положения распределительного и коленчатых валов, датчики скорости автомобиля и др.

(e) Индукционные (генераторный тип) датчики

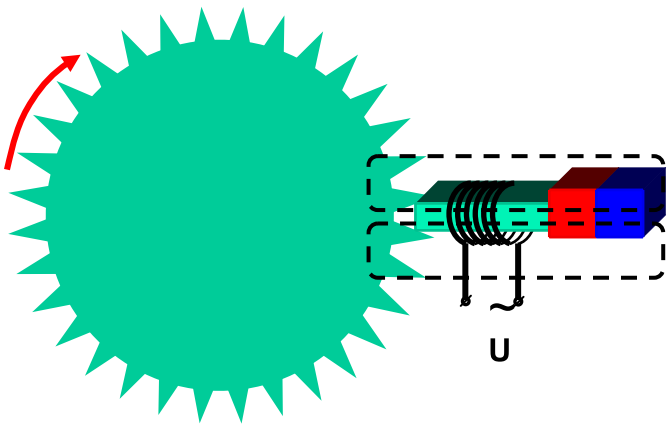


Рис. 4-10

Датчики этого типа представляют собой катушку индуктивности с сердечником в виде постоянного магнита.

При изменении магнитного поля в катушке появляется (генерируется) ток (явление электромагнитной индукции). Амплитуда этого тока зависит скорости изменения магнитного поля, и следовательно от частоты вращения. Это основной недостаток этого датчика. К достоинствам можно отнести простоту, дешевизну и надежность.

Датчики этого типа применяют для измерения частоты вращения вала двигателя, коробки передач, скоростей колес автомобиля.

(f) Индуктивные датчики

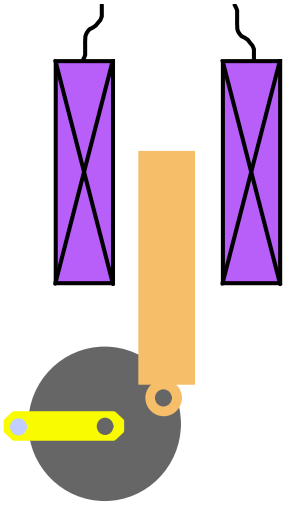


Рис. 4-11

Датчики этого типа тоже представляют собой катушку индуктивности, но с сердечником в виде металлического стержня. При перемещении этого сердечника меняется величина индуктивности, а не наводится ЭДС как в индукционном датчике.

Примером может служить датчик высоты положения кузова или датчик ускорения автомобиля.

(g) Пьезоэлектрические датчики

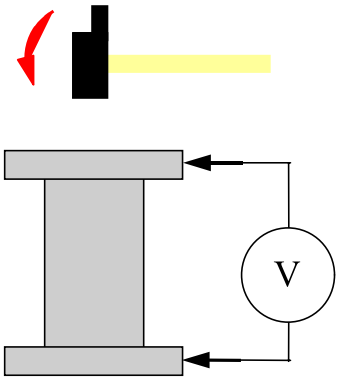


Рис. 4-12

Принцип действия датчиков основан на способности некоторых кристаллических материалов, генерировать напряжение при ударе по ним. Существуют варианты датчиков, в которых изменяется сопротивление (пьезорезистор).

Пьезоэлектрический эффект является обратимым, т.е. при приложении напряжения к кристаллу происходит его деформация.

На основе пьезоэлектрического эффекта сконструированы датчики детонации.

(h) Фотоэлектронные (оптические) датчики

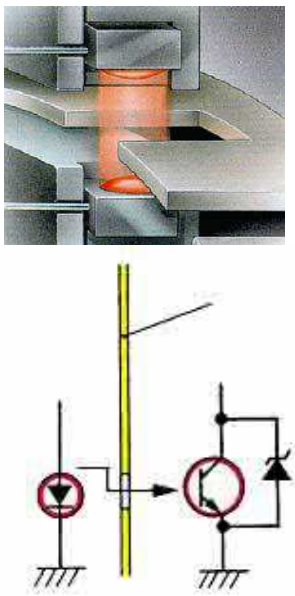


Рис. 4-13

Датчики этого типа обычно построены на основе так называемой оптической пары (светодиод-фоторезистор, светодиод-фотодиод, светодиод-фототранзистор). Обычно это светодиод и фототранзистор, между которыми вращается сектор с отверстиями. При попадании света от фотодиода на фототранзистор, проводимость последнего резко увеличивается, что приводит к протеканию тока в цепи.

В качестве примера можно привести датчик положения рулевого колеса.

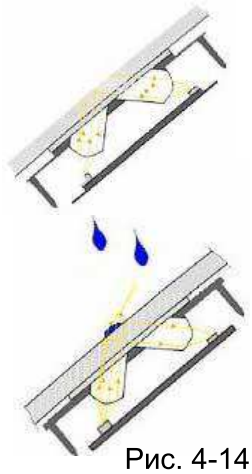


Рис. 4-14

Другой пример – это датчик дождя (рис 4.14). Он устанавливается на лобовом стекле и тоже состоит из светодиода и фототранзистора. В сухую погоду свет излучённый светодиодом отражается от стекла и попадает на фототранзистор. Когда идет дождь, то часть света преломляется через капли воды и световой поток, попадающий на фототранзистор, уменьшается.

(i) Емкостные (конденсаторные) датчики

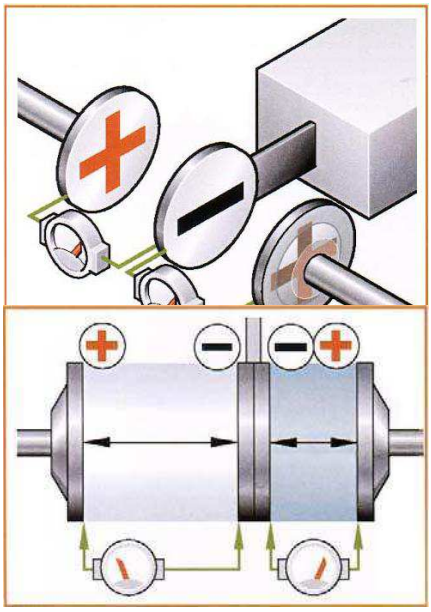


Рис. 4-15

Работа датчика:

• Между двумя стационарными и положительно заряженными дисками расположен третий, кремниевый, отрицательно заряженный и закреплённый на пластинчатом пружинном элементе.

•Три диска образуют обкладки двух конденсаторов C1 и C2, создающих два электрических поля.

• Под действием сил приводящих к смещению центрального диска происходит изменение ёмкостей C1 и C2 вызванное изменением расстояния между обкладками. Это отклонение и отслеживается электронной схемой.

На таком принципе могут быть построены датчики ускорения, датчики давления и пр.

3. Классификация датчиков по измеряемому параметру

По измеряемому параметру датчики можно разделить на группы:

1. Измерители расхода воздуха
2. Датчики давления
3. Датчики температуры
4. Датчики положения коленчатого и распределительного валов
5. Датчики скорости вращения колеса
6. Датчики скорости автомобиля
7. Датчики положения рулевого колеса.
8. Датчики положения дроссельной заслонки
9. Датчики положения педали акселератора
10. Датчики детонации
11. Кислородные датчики

(1) Измерители расхода воздуха

Эти датчики предназначены для определения количества воздуха поступающего во впускной коллектор. Обычно они имеют встроенный датчик температуры воздуха.
Бывают нескольких типов:

- объёмного расхода воздуха (вихревой)
- массового расхода воздуха (плёночный)
- датчик абсолютного давления.

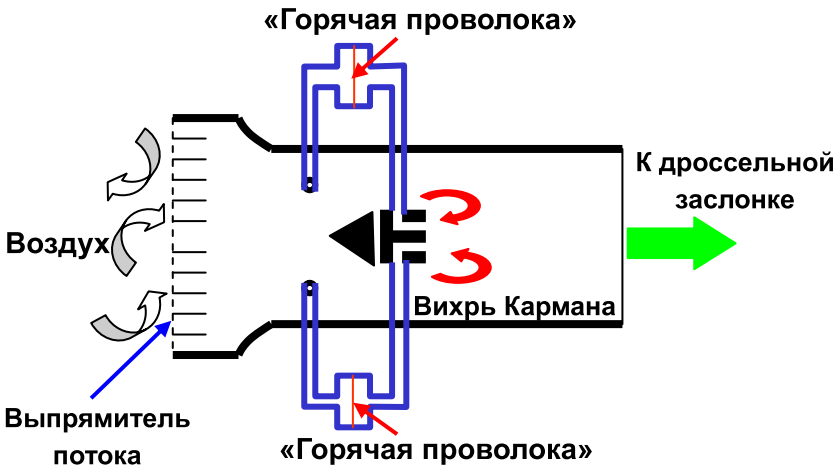
(а) Датчик объёмного расхода воздуха (AFS - AIR FLOW SENSOR).

Принцип действия этого датчика основан на зависимости изменения частоты образующихся завихрений от объёма проходящего воздуха.

Возможно несколько различных методов подсчёта вихрей. В настоящее время используется метод с использованием «горячей проволоки». Проходящий воздух охлаждает очень тонкую нить накала, находящуюся в обводном канале. Создаваемые завихрения создают пульсацию воздушного потока. Чем чаще пульсация, тем чаще необходимо подавать питание для нагрева нити, т.к. меняется ее сопротивление.

Для определения массы проходящего воздуха в состав датчика входят также датчик давления и датчик температуры.







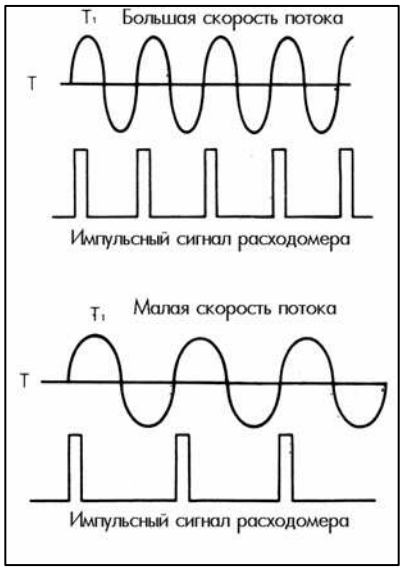


Рис. 4-16

(b) Датчик массового расхода воздуха (μ AFS – MASS AIR FLOW SENSOR)



Рис. 4-17

Этот датчик состоит из керамического основания, на котором расположена пленка, в которую вмонтированы измерительные резисторы. На этом же основании размещен терморезистор измеряющий температура воздуха во впускном коллекторе.

В датчиках массового расхода воздуха используется термоанеометрический метод измерения расхода воздуха, основанный на охлаждении движущимся потоком воздуха нагреваемого током терморезистора. Ток нагревает резистор до температуры выше температуры окружающей среды. Сила тока через резистор будет пропорциональна массе воздуха. Для правильного вычисления массы воздуха необходимо знать температуру воздуха, поэтому рядом размещают резистор, не омываемый потоком воздуха.

(c) Датчик абсолютного давления (MAP - MANIFOLD ABSOLUT PRESURE SENSOR).

Как более дешевый вариант, вместо датчика расхода воздуха, на недорогих моделях применяется датчик разряжения во впускном коллекторе.

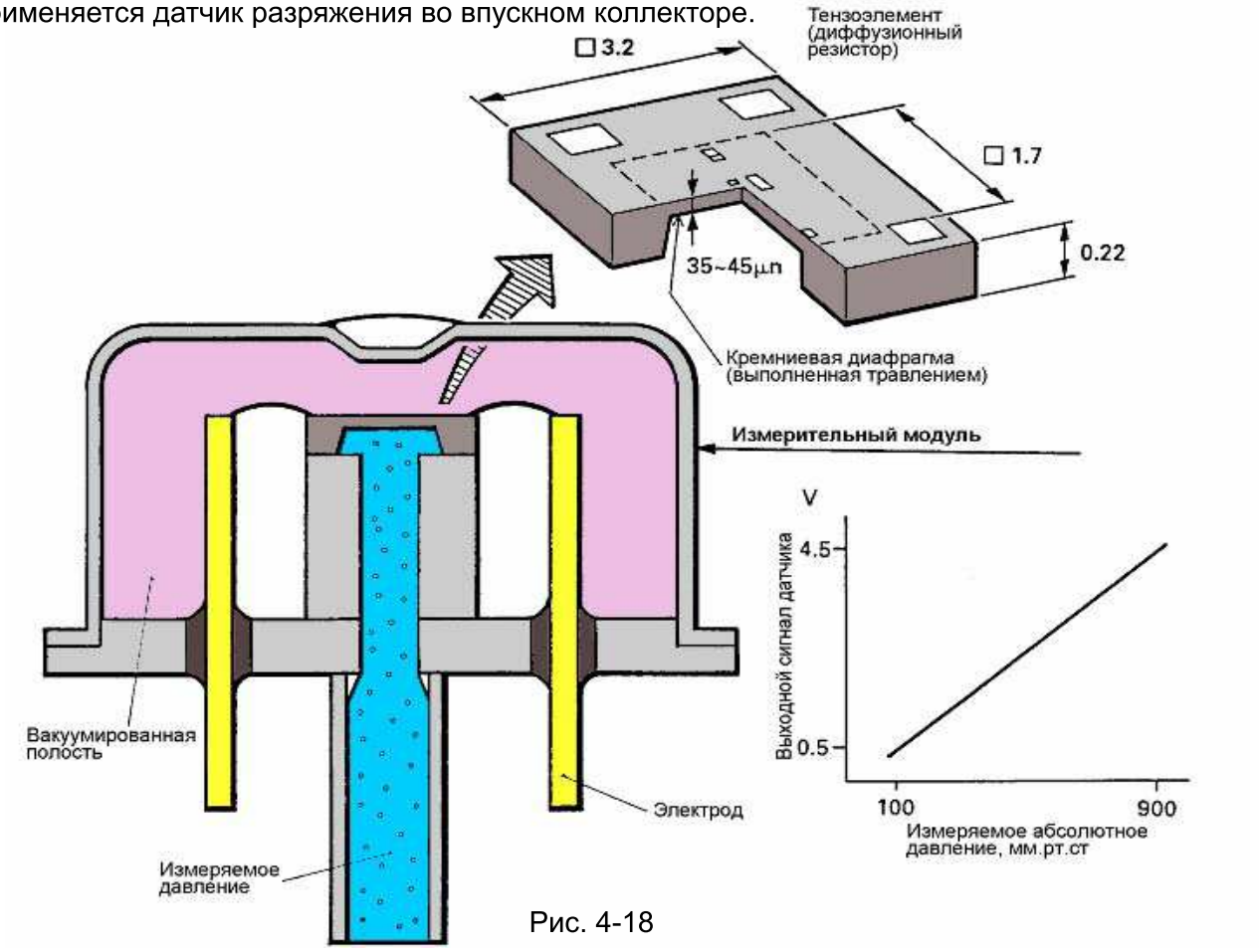


Рис. 4-18

В основе работы датчиков абсолютного давления лежит тензорезистивный эффект:

изменение сопротивления проводника в результате его деформации.

Обычно такой датчик изготавливается из кремниевой пластины часть, которой вытравливают до образования тонкой мембраны. На мембране выполнены четыре тензорезистора образующие мостовую схему. При изменении давления мембрана выгибается, и сопротивление тензорезисторов изменяется.

(2) Датчики давления

Эти датчики предназначены для измерения давлений в различных гидравлических или пневматических системах автомобиля (система смазки двигателя, тормозная система и др).

Обязательным элементом датчика давления является мембрана – плоская или гофрированная пластина. Герметичная полость, расположенная под мембраной, должна соединяться с полостью измерения давлений. Существуют два принципиально разных типа датчиков: датчики аварийного давления и датчики манометров (измерители давления).

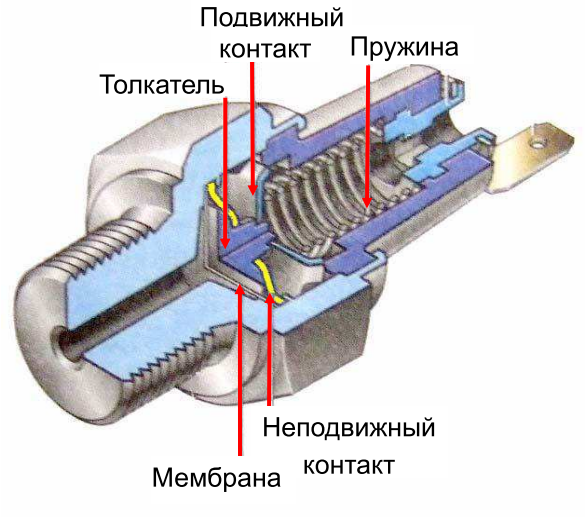


Рис. 4-19

Датчик аварийного давления состоит из неподвижного контакта и подвижного контакта, который механически связан с упругой плоской мембраной. При снижении давления ниже порогового значения прогиб мембраны уменьшается, и контакты датчика замыкаются, лампочка аварийной сигнализации загорается.

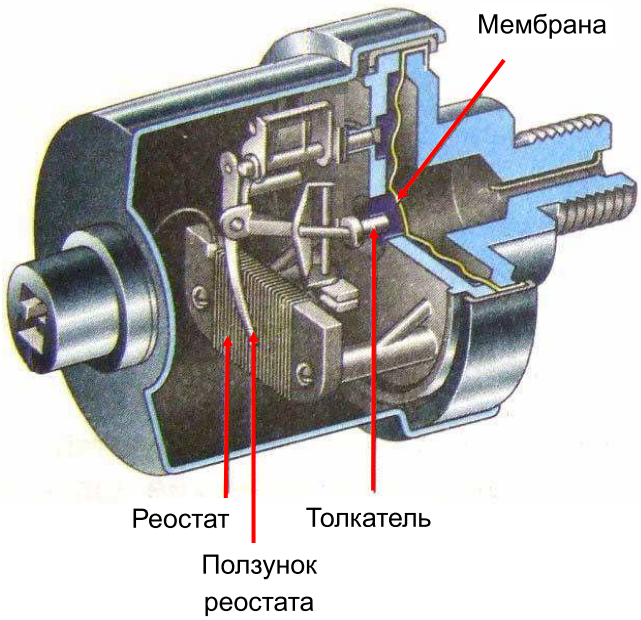


Рис. 4-20

Датчик давления (манометра) состоит из гофрированной мембраны, которая через толкатель соединяется с механизмом, измеряющим её перемещение (обычно это реостат).

(3) Датчики температуры охлаждающей жидкости (WATER TEMPERATURE SENSOR).

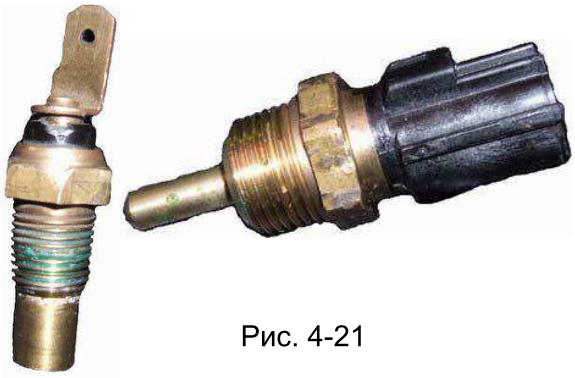


Рис. 4-21

Датчики температуры охлаждающей жидкости выполнены на основе полупроводниковых резисторов с отрицательным ТКС.

Различают датчики температуры охлаждающей жидкости выдающих показания в топливную систему двигателя (два вывода) и указатель температуры на приборную панель (один вывод).

(4) Датчики положения коленчатого(CRANK ANGLE SENSOR) и распределительного (CAMSHAFT POSITION SENSOR) валов

Эти датчики предназначены для определения положения и скорости вращения валов. Применяются несколько различных типов:

- оптические
- на основе магнитоуправляемых микросхем (эффекта Холла или на основе MRE).

(a) Оптические датчики



Датчики этого типа построены на основе оптической пары светодиод-фотодиод, между которыми вращается сектор с отверстиями. При попадании света от фотодиода на фотодиод сопротивление последнего уменьшается.

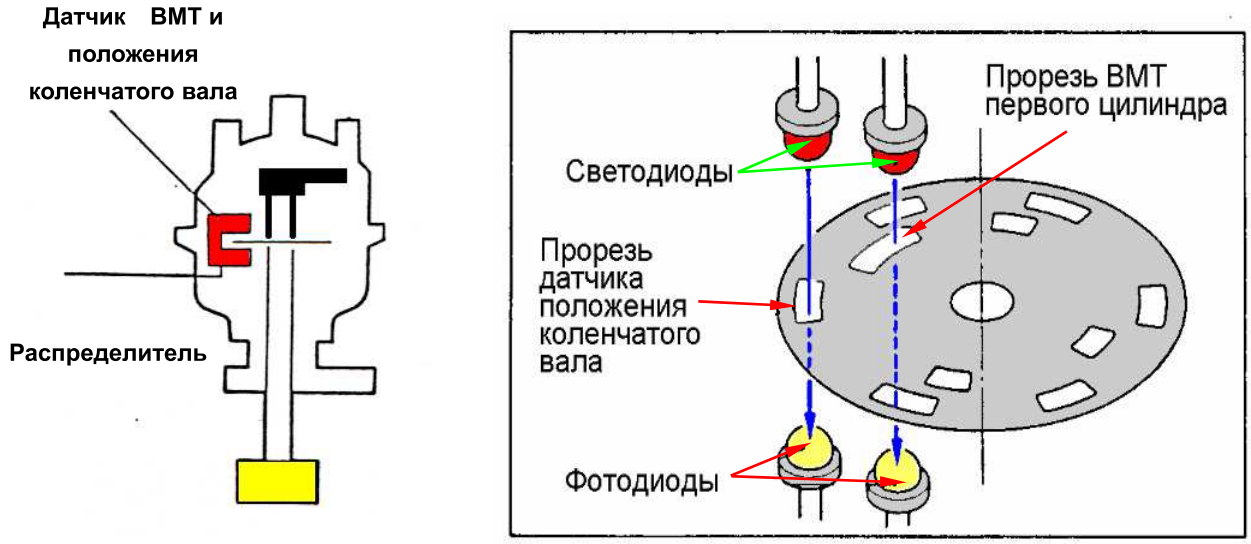


Рис. 4-22

(b) Датчики на основе эффекта Холла или MRE.





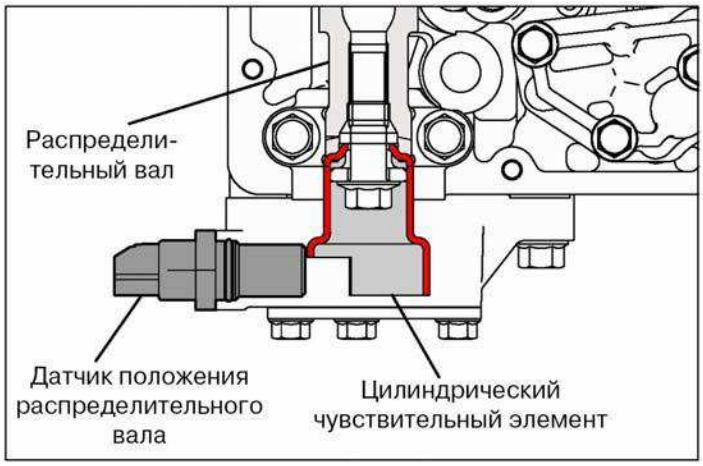


Рис. 4-23

Датчики положения распределительного и коленчатого валов на основе эффекта Холла или MRE конструктивно устроены одинаково. Они состоят из датчика и чувствительного элемента закрепленного на валу.

Формы чувствительных элементов датчиков коленчатого и распределительного валов различны (рис 4-23).

(5) Датчики скорости вращения колеса (WHEEL SPEED SENSOR)

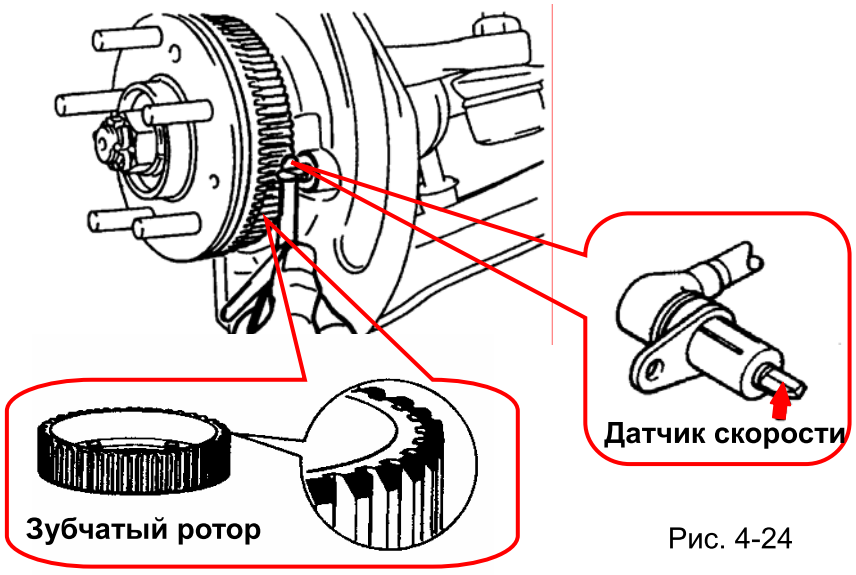
Эти датчики предназначены для определения скорости вращения колёс автомобиля.

Применяются датчики двух типов:

- индукционные
- полупроводниковые (эффекта Холла).

(a) Индукционные датчики

Датчик скорости колеса такого типа это своего рода генератор импульсов, который состоит из зубчатого ротора и датчика, в котором под воздействием токов самоиндукции вырабатываются сигналы с частотой пропорциональной скорости вращения колеса. От скорости вращения колеса зависит не только частота сигнала, но ещё и амплитуда (рис 4.24). Такой тип датчика имеет низкий уровень сигнала при малых скоростях вращения колес.



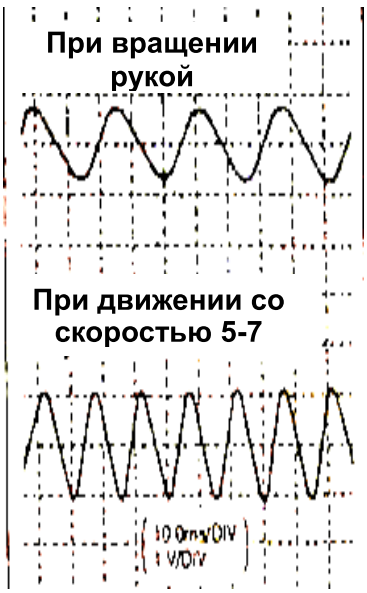


Рис. 4-24

(b) Датчики полупроводникового типа (на основе MRE)

Датчики скорости колеса такого типа состоит из датчика на основе MRE и магнитного кольца встроенного в подшипник ступицы колеса.

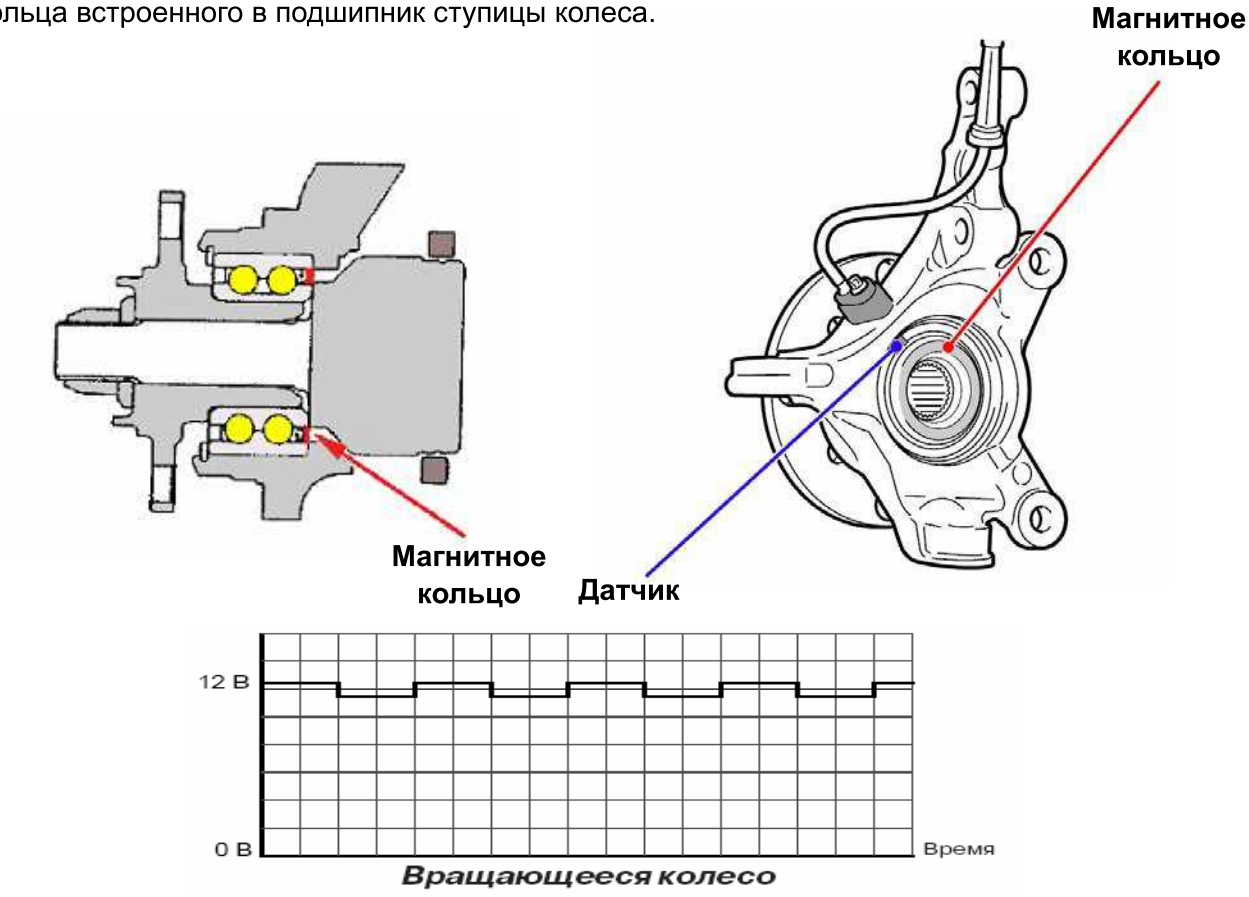


Рис. 4-25

Такой тип датчика имеет уровень сигнала, амплитуда которого не изменяется от скорости вращения колес (изменяется только частота), и способен работать при сколь угодно малых скоростях вращения колес.

(6) Датчики скорости автомобиля (VEHICLE SPEED SENSOR)

Эти датчики предназначены для определения скорости движения автомобиля (подробно описаны в главе 3).

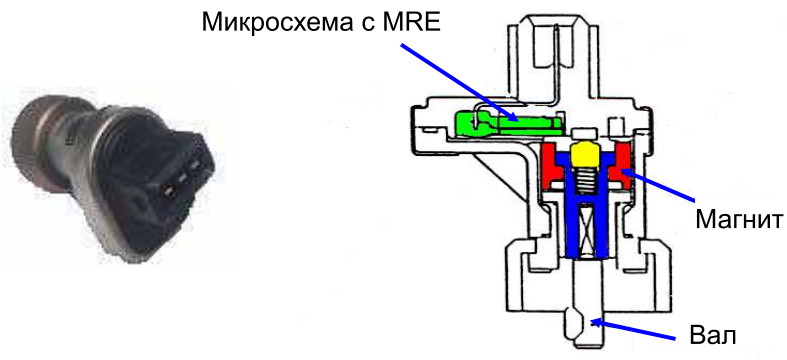


Рис. 4-26

(7) Датчики положения рулевого колеса (STEERING WHEEL SENSOR).

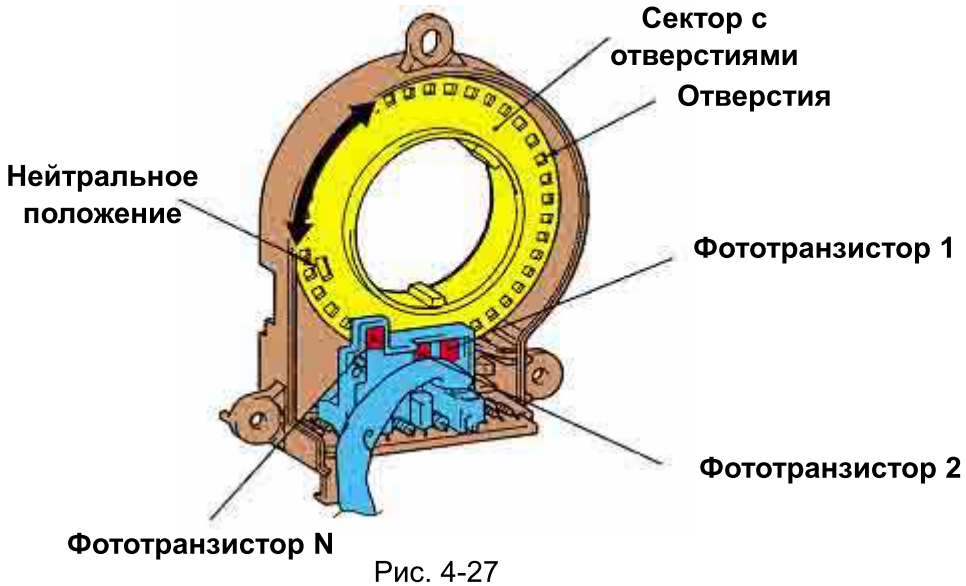


Рис. 4-27

Датчики этого типа построены на основе оптической пары светодиод-фототранзистор, между которыми вращается сектор с отверстиями. В датчике используются 3 светодиода повышенной яркости (LED) и 3 фототранзистора: (ST1), (STN), (ST2), между которыми вращается закреплённый на валу рулевого колеса перфорированный диск. При попадании света от светодиода на фототранзистор он открывается, что приводит к протеканию тока в цепи. Импульсный сигнал используется для подсчёта направления, величины и скорости поворота рулевого колеса. По последовательности возникновения тока в цепях фототранзисторов определяется направление, по частоте следования импульсов – скорость, по количеству импульсов – угол. Третий фототранзистор (STN) необходим для определения нейтрального положения.

(8) Датчики положения дроссельной заслонки (TPS – THROTTLE POSITION SENSOR)

Эти датчики предназначены для определения положения дроссельной заслонки.
Применяются датчики двух различных типов:

- контактные
- бесконтактные (эффект Холла).

(a) Датчики контактного типа

Датчики этого типа представляет собой потенциометр со скользящим контактом.

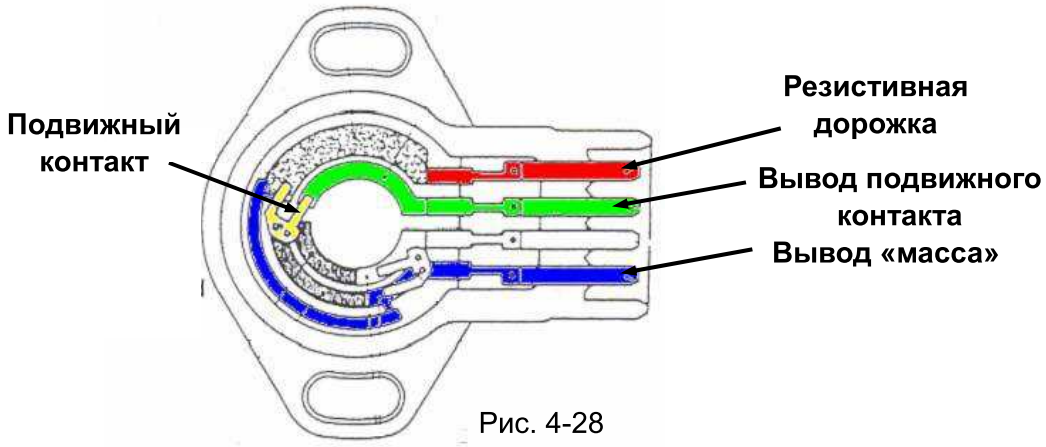


Рис. 4-28

На один вывод потенциометра подаётся опорное напряжение 5 В, а другой соединен с «массой» автомобиля. С третьего вывода потенциометра (ползунка) снимается выходной сигнал пропорциональный углу поворота дроссельной заслонки. При закрытой заслонке сигнал датчика должен быть около 0,5 В, а когда дроссельная заслонка полностью открыта – около 4,5 В.

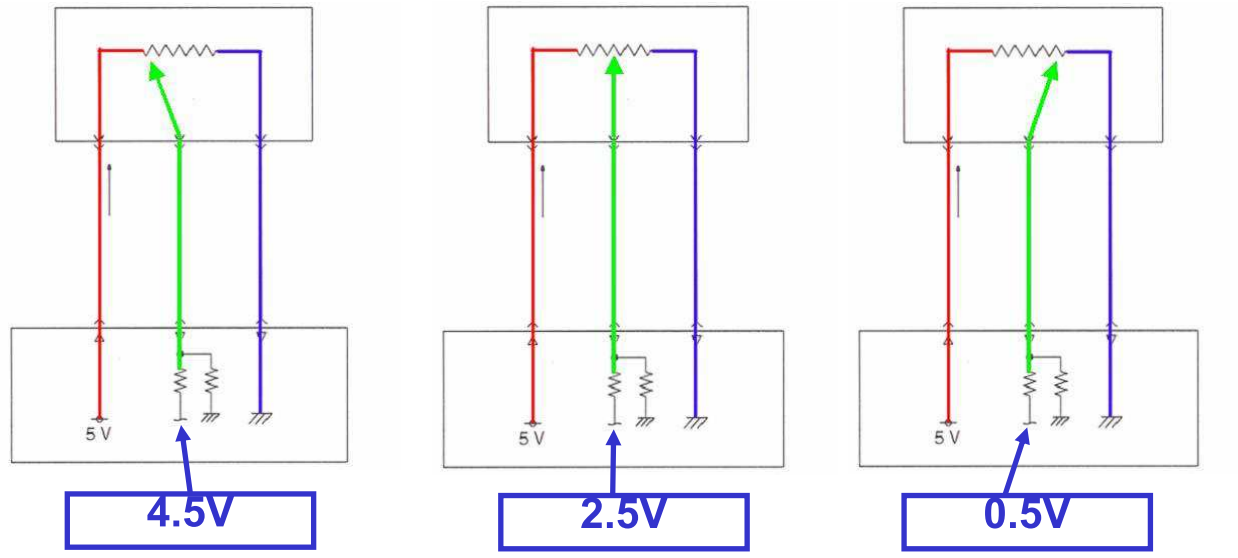


Рис. 4-29

(b) Датчики бесконтактного типа

Датчик этого типа построен на основе элемента Холла.
На корпусе дроссельной заслонки расположены неподвижно два датчика (Hall IC), а на вращающейся оси закреплены магниты (рис 4.30).

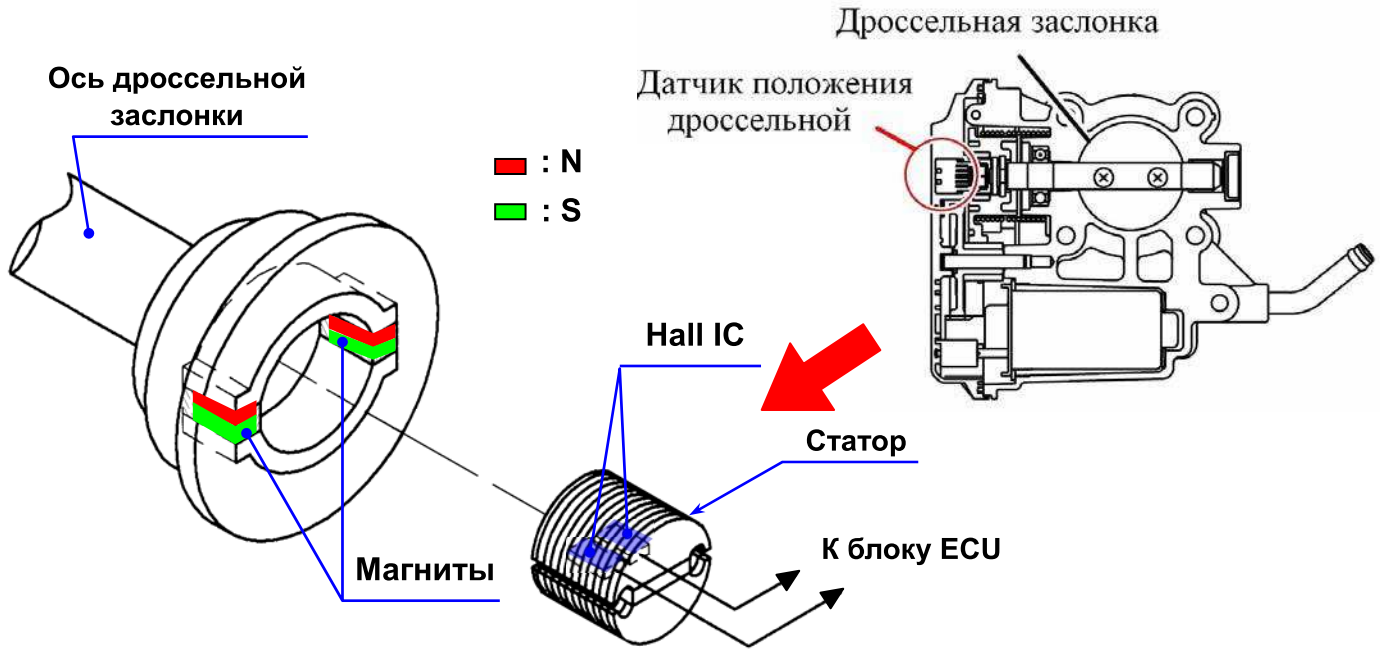
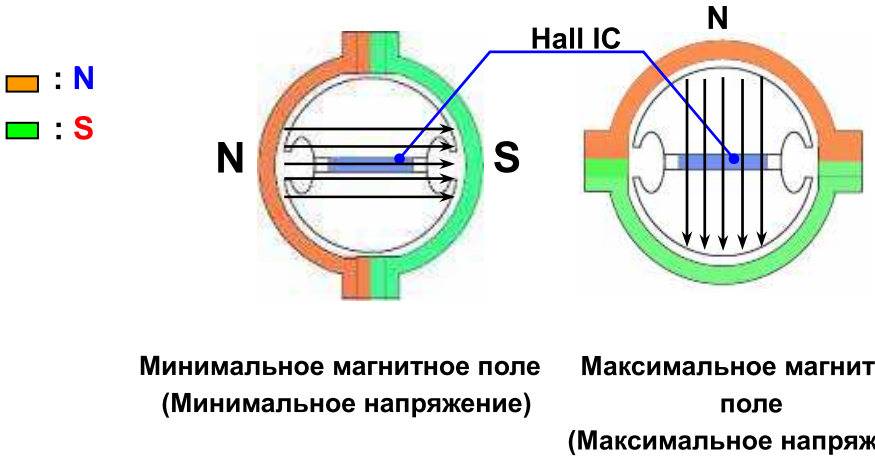


Рис. 4-30

При вращении оси заслонки меняется направление силовых линий магнитного поля. Напряжение на выходе элементов Холла изменяется пропорционально изменению магнитного поля.



Минимальное магнитное поле (Минимальное напряжение)

Максимальное магнитное поле (Максимальное напряжение)

Рис. 4-31

Датчики размещены таким образом, что напряжение на их выходах различно. Когда заслонка полностью закрыта, то сигнал основного датчика должен быть около 0,5 В, а резервного 4,5. Когда дроссельная заслонка полностью открыта, то наоборот сигнал основного датчика должен быть около 4,5 В, а резервного 0,5 (рис. 4.32).

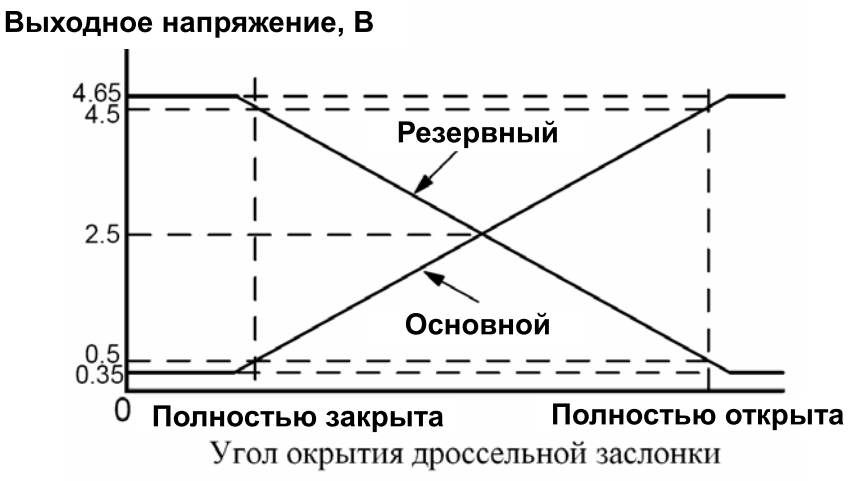


Рис. 4-32

(9) Датчики положения педали акселератора (APS – ACCELERATION POSITION SENSOR)

Эти датчики предназначены для определения положения педали акселератора. Устроены аналогично датчикам положения дроссельной заслонки

Применяются датчики двух различных типов:

- контактные
- бесконтактные (эффект Холла).

(a) Датчики контактного типа

Датчики этого типа представляет собой потенциометр со скользящим контактом.

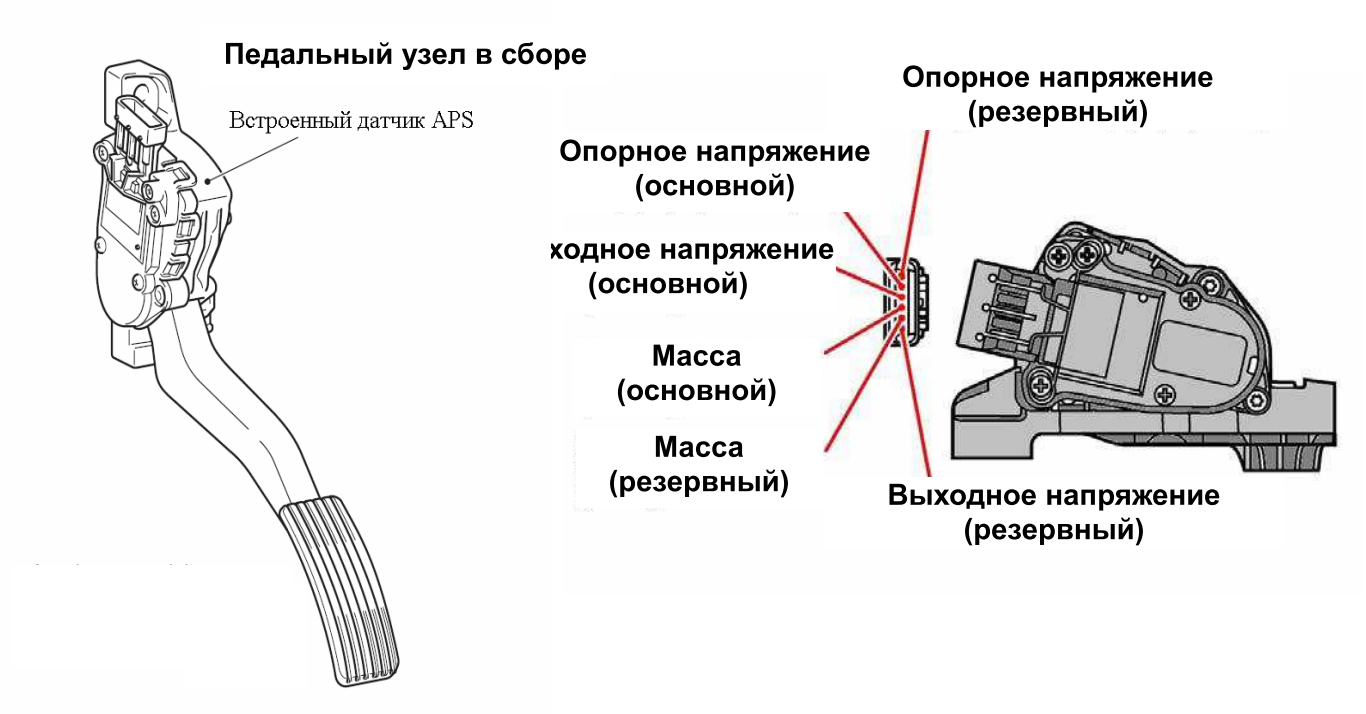


Рис. 4-33

Конструктивно внутри корпуса размещены два потенциометра. Выходное напряжение основного и резервного датчика различно (отличается в 2 раза) (рис. 4.34).

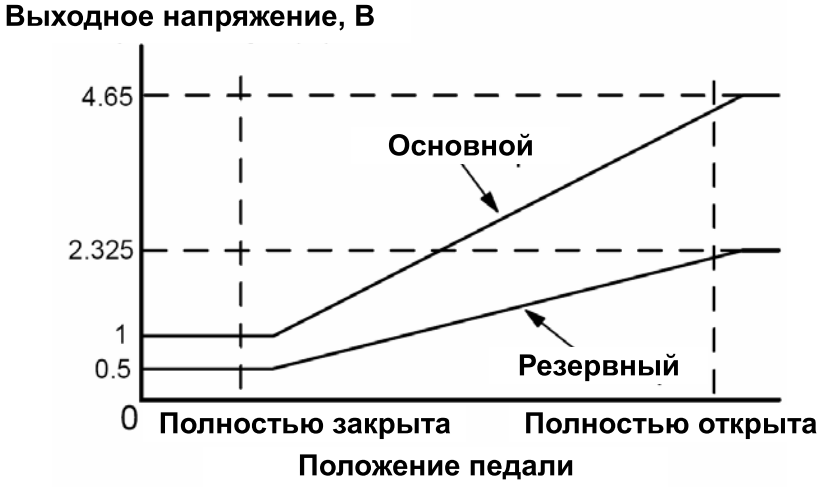


Рис. 4-34

(b) Датчики бесконтактного типа

Датчик этого типа построен на основе элемента Холла.
На корпусе дроссельной заслонки расположены неподвижно два датчики (Hall IC), а на вращающейся оси закреплены магниты (рис 4.35).

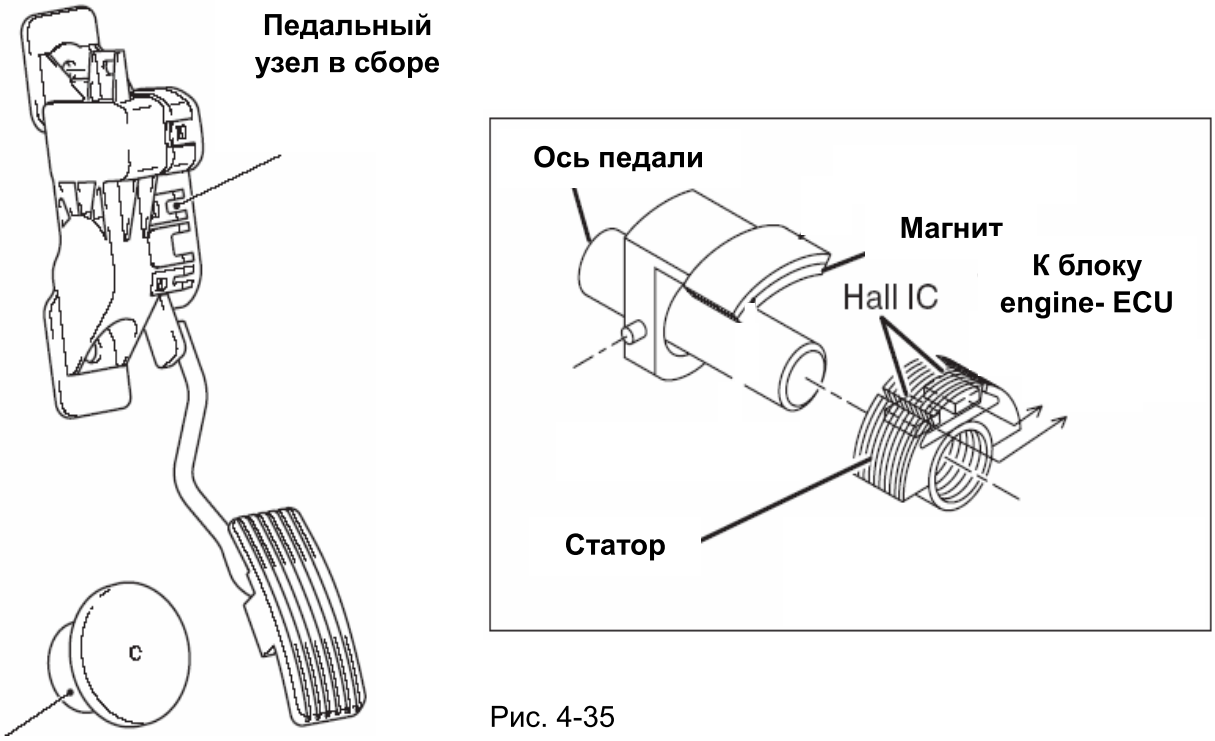


Рис. 4-35

При вращении оси заслонки меняется направление силовых линий магнитного поля. Напряжение на выходе элементов Холла изменяется пропорционально изменению магнитного поля.

Датчики размещены таким образом, что когда заслонка полностью закрыта, то сигналы основного и резервного датчика должны быть около 0,5 В, а когда дроссельная заслонка полностью открыта, то сигналы основного и резервного датчика должны быть около 4,65 В. В других положениях их сигналы немного различны (рис. 4.36).

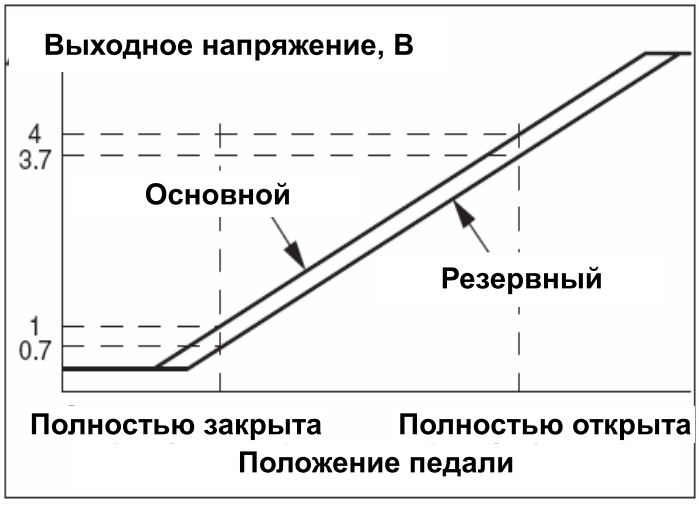


Рис. 4-36

(10) Датчики детонации (KNOCK SENSOR, DETONATION SENSOR)

В основе работы датчиков лежит явление пьезоэлектрического эффекта (возникновение электрических зарядов при деформации кристаллов). При сжатии или растяжении на гранях появляются заряды противоположного знака, пропорциональные давлению на пластину.
В зависимости от конструкции датчики детонации могут быть резонансными или широкополосными .

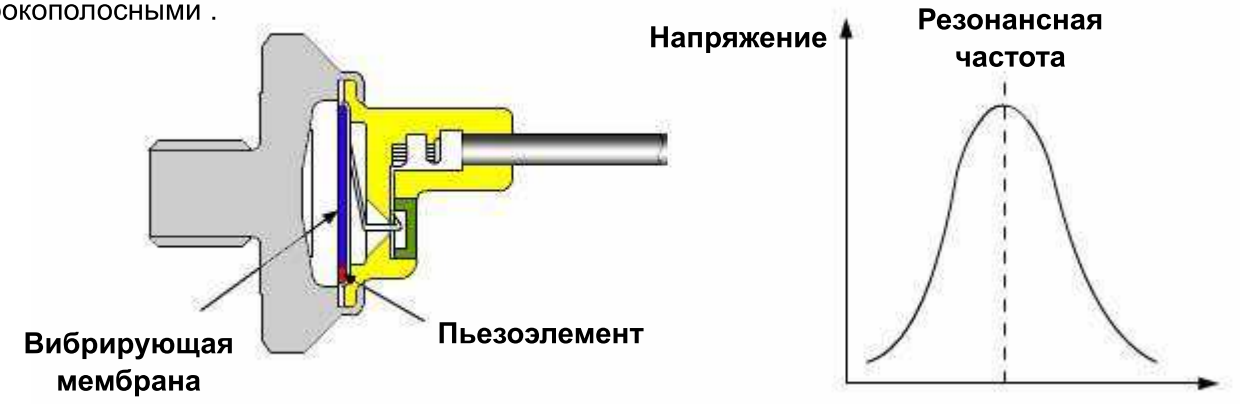


Рис. 4-37

В резонансных датчиках (рис 4.37) амплитуда выходного напряжения резко возрастает и превышает пороговый уровень на одной резонансной частоте детонации.

1- Инерционная масса
2- Корпус
3- Пьезоэлемент
4- Изолятор
5- Вывод

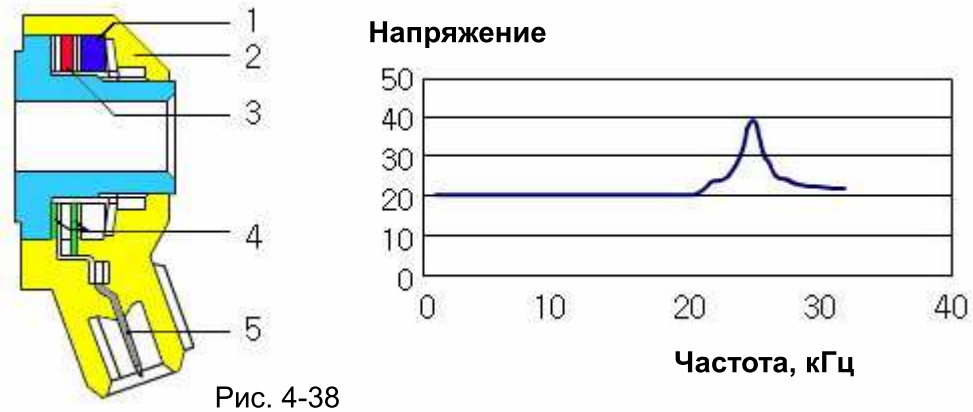


Рис. 4-38

В широкополосных датчиках (рис 4.38) амплитуда выходного напряжения превышает пороговый уровень во всем диапазоне частот детонации.

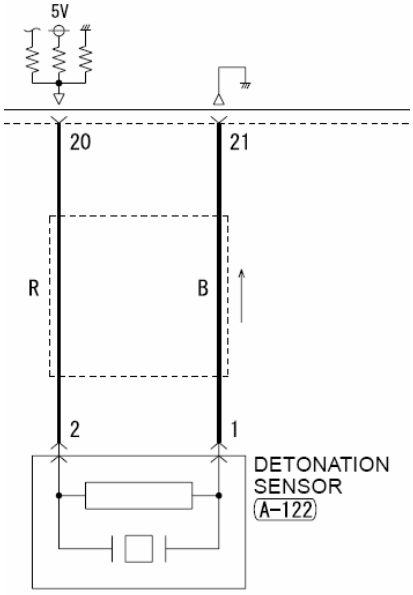


Рис. 4-39

Пьезоэлементы относятся к диэлектрикам, и поэтому не пропускают электрический ток, поэтому чтобы было возможно обнаружить обрыв цепи, параллельно датчику подключён резистор (рис. 4.39).

(11) Кислородные датчики (OXGEN SENSOR).

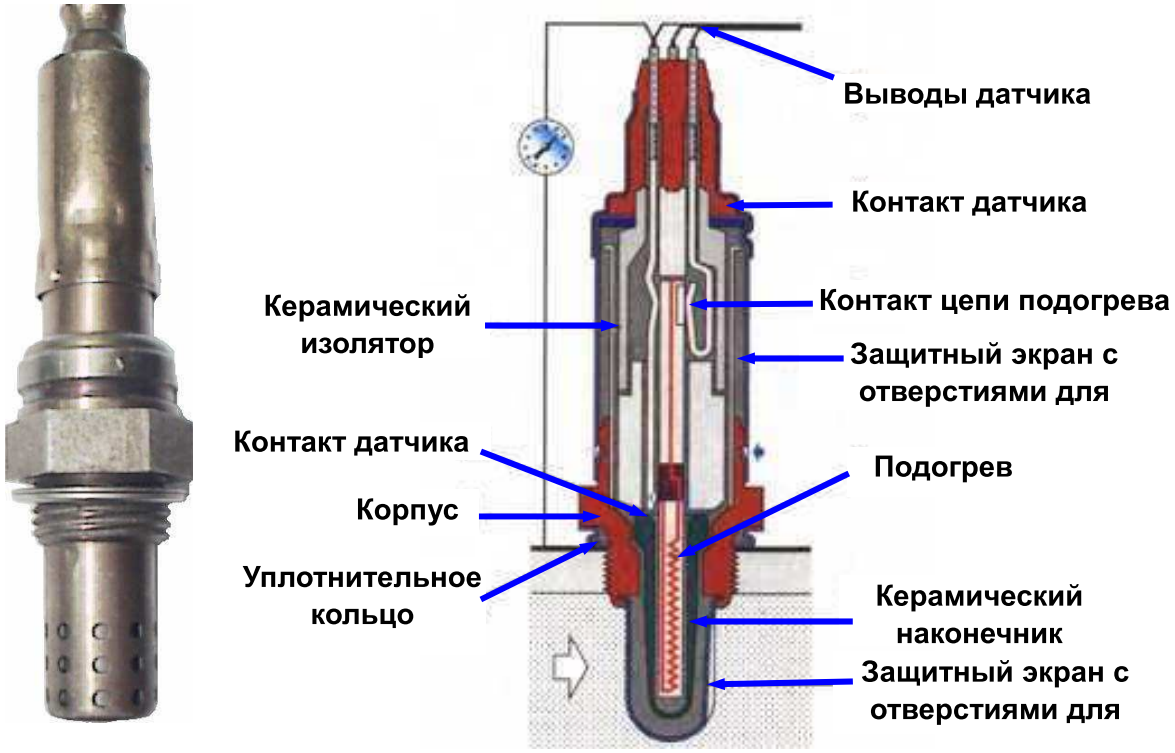


Рис. 4-40

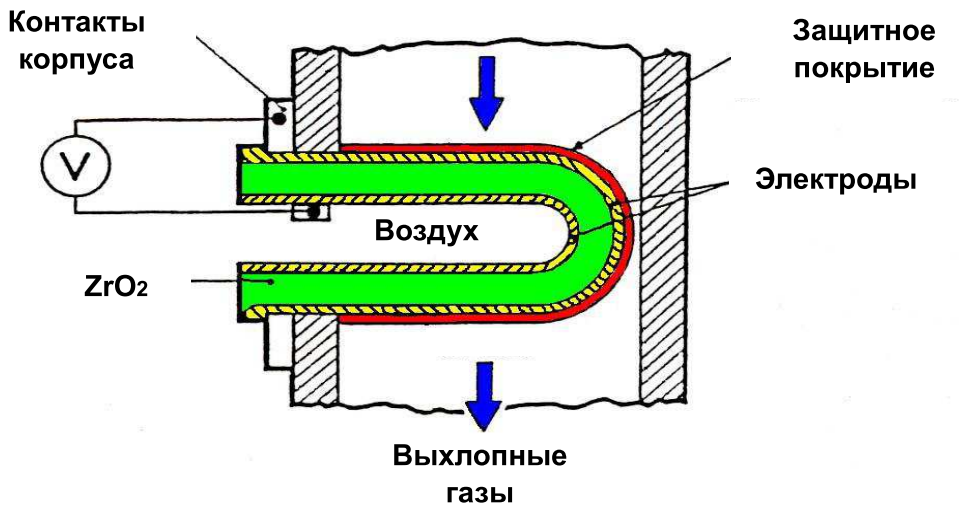


Рис. 4-41

Кислородный датчик или лямда-зонд (λ-коэффициент избытка воздуха), представляет собой стакан, выполненный из диоксида циркония (ZrO2). Наружная поверхность находится в контакте с выхлопными газами, а внутренняя с окружающим воздухом. Обе поверхности стакана покрыты слоями пористой платины, которые выполняют роль электродов. Снаружи датчик закрыт оболочкой из пористого алюминия, через который внутрь датчика проникают выхлопные газы. Диоксид циркония представляет собой твёрдый электролит. При различной концентрации кислорода между внутренней и наружной поверхностями, на платиновых

электродах возникает разность потенциалов.



Рис. 4-42

Напряжение датчика изменяется резко при незначительном изменении концентрации кислорода, т.е. датчик работает как выключатель. При работе двигателя на богатой смеси напряжение датчика составляет около 900 мВ, а на бедной около 50 мВ. Время его срабатывания составляет около 50 мс. Сигнал на выходе датчика представляет собой импульсы почти прямоугольной формы.

Выходное напряжение датчика зависит от температуры. При температуре ниже 300° С, проводимость датчика равна практически 0 и время срабатывания датчика составляет несколько секунд. Поэтому рабочей температурой датчика считается 600° С.

Датчики оборудованы внутренним подогревателем, который осуществляет дополнительный подогрев датчика, а при высоких температурах отключается.