

## Теоретическое занятие. Датчики.

<https://geektimes.ru/post/255116/>

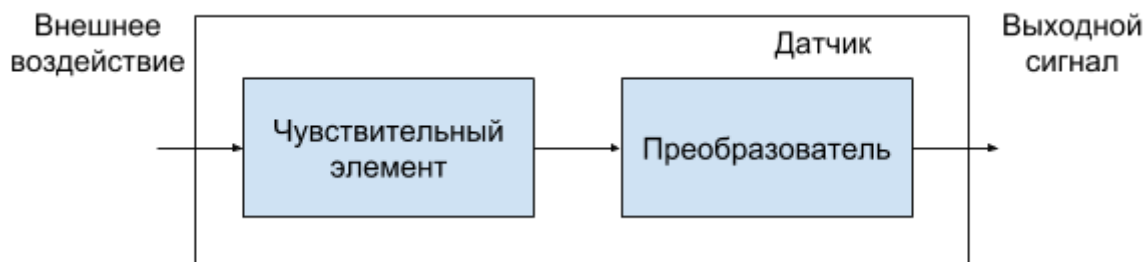
<https://geektimes.ru/post/255126/>

### Введение

Для того чтобы сложные интеллектуальные системы могли воспринимать информацию из внешнего мира, необходимы интерфейсные устройства, преобразующие разнообразные физические величины и процессы в электрические сигналы. Такими интерфейсными устройствами и являются датчики. Другими словами, датчики – это глаза, уши и органы обоняния кремниевых кристаллов.

*Датчик* – это устройство, воспринимающее внешние воздействия и реагирующее на них изменением электрических сигналов. Под внешним воздействием понимается количественная характеристика объекта, его свойство или качество, которые необходимо воспринять и преобразовать в электрический сигнал. Датчики в системах, созданных человеком, «разговаривают» с устройствами, с которыми они связаны, на одном языке. Язык общения – электрические сигналы, в которых информация передается при помощи электронов.

Датчик (sensor) состоит из двух частей – *чувствительного элемента (detector)* и *преобразователя (transducer)*.



Чувствительный элемент иногда называют измерительной головкой. Результат работы датчика – это реакция чувствительного элемента на внешнее воздействие, которая на выходе преобразователя представляет собой электрический сигнал, распространяющийся далее по проводнику, т.е. этот сигнал является выходным сигналом датчика.

Назначение датчиков – *реакция на внешнее воздействие и преобразование его в электрический сигнал, совместимый с измерительными схемами.* Другими словами, можно сказать, что датчик – это преобразователь физической величины в электрический сигнал. Выходными сигналами датчиков могут быть напряжение, ток или заряд, которые описываются следующими характеристиками: амплитудой, частотой, фазой или цифровым кодом. Этот набор характеристик называется форматом выходного сигнала. Таким образом, каждый датчик характеризуется набором входных параметров любой физической природы и набором выходных электрических параметров.

### **Датчики, установленные на спутнике ТаблетСат.**

На модели спутника “ТаблетСат” установлены различные датчики, анализирующие работу спутника и его состояние:

- солнечный датчик;
- датчик угловой скорости;
- магнитометр;
- ВЧ передатчик;
- ВЧ приемник;
- передатчик телеметрии;
- приемник телеметрии;
- камера съемки земли;

*Солнечные датчики* на спутниках выполняют роль датчиков ориентации, определяя пространственное положение спутника относительно Солнца. Очень часто они используются для грубой ориентации панелей солнечных батарей спутника на Солнце.

*Датчик угловой скорости* позволяет изменять текущие угловые скорости аппарата по трем осям. При взаимодействии датчика с маховиком возможно осуществить стабилизацию спутника.

*Магнитометр* измеряет магнитное поле вокруг себя, выдавая три компоненты вектора индукции магнитного поля, в единицах, измеряемых в Тесла. В идеальных условиях магнитометр на борту спутника измеряет именно геомагнитное поле Земли - то самое, которое заставляет поворачивать стрелку компаса у наземного пользователя. Однако в реальной жизни конструкция любого спутника содержит в своем составе магнитные материалы (например, постоянные магниты электроприводов), поэтому магнитометр измеряет некое суммарное поле Земли и поле самого спутника - т.н. суперпозицию полей.

*Высокочастотный (ВЧ) скоростной передатчик* реализован в составе конструктора как отдельный модуль, включающий простой светодиод, мигающий с заданной частотой и определенной последовательностью. В тот момент, когда свет от этого «передатчика» попадает на высокочастотный приемник на Земле, считается, что канал связи установлен и можно передавать данные фотографий со спутника на Землю (в реальности - по WiFi).

*Высокочастотный (ВЧ) высокоскоростной приемник* входит в состав набора конструктора и имитирует наземную станцию приема информации по высокоскоростному каналу. На этапе проведения экспериментов аналогичные приемники будут смонтированы

непосредственно на поверхности Земли, т.е. на глобусе. При наведении «луча» бортового ВЧ-передатчика “наземный” ВЧ-приемник сигнализирует об установке канала связи.

*Передатчик телеметрии* космического аппарата - чаще всего УКВ-передатчик, работающий на частоте 145 или 436 МГц, обеспечивающий малую скорость передачи данных, с всенаправленной или близкой к всенаправленной бортовой антенной. Большая скорость передачи здесь и не нужна: количество телеметрической информации с аппарата, как правило, значительно ниже, чем поток данных с полезной нагрузкой, ради которой данный спутник был запущен в космос. С другой стороны, при неполадках на борту и при возможной потере аппаратом ориентации данный канал связи остается доступным, для получения критически важной информации о состоянии бортовых служебных систем и восстановления работоспособности спутника. Любая информация в случае нештатной (аварийной) работы борта имеет крайне важное значение, позволяя оперативной группе управления спутником, дежурящей в Центре управления и работающих со спутником в сеансах связи, выявить неполадки, принять какие-то решения по ее устранению.

*Приемник телеметрии* - УКВ-приемник из состава конструктора имитирует работу радиоприемной части наземной станции приема телеметрической информации по низкоскоростному каналу. При передаче данных телеметрии бортовым радиоканалом и подключенном УКВ-приемнике в наземной сети, эти данные будут автоматически приниматься наземным радиоканалом.

*Камера* - полезная нагрузка для съемки Земли из космоса, ради которой и проектируется космический аппарат в нашем случае. В реальности, кроме камер для съемки Земли, существует огромный спектр

различных полезных нагрузок для космических аппаратов - приборов научного, образовательного, военного, технологического назначения.

Одним из основных элементов камеры является фотоматрица или светочувствительная матрица - специализированная аналоговая или цифро - аналоговая интегральная микросхема, состоящая из светочувствительных элементов - фотодиодов.

### **Классификация датчиков.**

Системы классификации датчиков могут быть очень разными: от очень простых до сложных. Критерий классификации всегда выбирается в зависимости от цели проведения классификации. Все датчики можно разделить на две категории: *пассивные и активные*. Пассивный датчик не нуждается в дополнительном источнике энергии и в ответ на изменение воздействия на его выходе всегда появляется электрический сигнал. Это означает, что такой датчик преобразует энергию внешнего сигнала в выходной сигнал. Примерами пассивных датчиков являются термопары, фотодиоды и пьезоэлектрические чувствительные элементы. Большинство пассивных датчиков являются устройствами прямого действия. В отличие от пассивного собрата активный датчик для своей работы требует внешней энергии, называемой сигналом возбуждения. При формировании выходного сигнала активный датчик тем или иным способом воздействует на сигнал возбуждения. Поскольку такие датчики меняют свои характеристики в ответ на изменение внешних сигналов, их иногда называют параметрическими. Фактически, в активных датчиках происходит преобразование изменения их внутренних характеристик в электрические сигналы, т.е. определенные параметры активных датчиков модулируют сигналы возбуждения, и эта модуляция несет в себе информацию об измеряемой величине. Например, термисторы являются

температурно-чувствительными резисторами. Сами по себе термисторы не производят никаких электрических сигналов, но при прохождении через них электрического тока (сигнала возбуждения), их сопротивление может быть определено по изменению тока и/или падению напряжения на них. Значение сопротивления отражает измеряемую температуру, которая может быть найдена по известным зависимостям. Другим примером активных датчиков является резистивный тензодатчик, чье электрическое сопротивление зависит от величины его деформации. Для определения сопротивления датчика через него также необходимо пропустить электрический ток от внешнего источника питания.

Другой подход к классификации датчиков заключается в рассмотрении их характеристик. Для того, чтобы отнести датчик к той или иной группе, необходимо знать, какие величины он может измерять, его характеристики, на каком физическом принципе он реализован, какой механизм преобразований он применяет, из какого материала он изготовлен, какая область его применения.

## Характеристики датчиков

### *Передаточная функция*

Для каждого датчика можно вывести идеальное или теоретическое соотношение, связывающее сигналы на его входе и выходе. Если была бы возможность идеально спроектировать датчик, изготовить его из идеальных материалов и идеальными инструментами, при этом все работы выполнялись бы идеальными работниками, то сигнал на выходе такого датчика всегда бы соответствовал реальному значению внешнего воздействия. Выведенное идеальное соотношение между входным и выходным сигналом можно выразить в виде таблицы, или графика, или математического выражения. Это идеальное (теоретическое) выражение часто называют передаточной функцией. Передаточная функция устанавливает взаимосвязь между выходным электрическим сигналом датчика  $S$  и внешним воздействием  $s$ :

$$S = f(s).$$

### *Диапазон измеряемых значений*

Динамический диапазон внешних воздействий, который датчик может воспринять, называется диапазоном измеряемых значений (FS – full scale). Эта величина показывает максимально возможное значение входного сигнала, которое датчик может преобразовать в электрический сигнал, не выходя за пределы допустимых погрешностей.

### *Диапазон выходных значений*

Диапазон выходных значений (FSO) - алгебраическая разность между электрическими выходными сигналами, измеренными при максимальном и минимальном внешнем воздействии. В эту величину

должны входить все возможные отклонения от идеальной передаточной функции.

### *Точность*

Точность - очень важная характеристика любого датчика. Правда, когда говорят о точности датчика, чаще всего подразумевают его погрешность измерений. Под погрешностью измерений, как правило, понимают величину максимального расхождения между показаниями реального и идеального датчиков. Считается, что измеренное значение соответствует реальному с определенной степенью достоверности.

### *Насыщение*

Каждый датчик имеет пределы рабочих характеристик. Даже если он считается линейным, при определенном уровне внешнего воздействия его выходной сигнал перестанет отвечать линейной зависимости. Это означает что при внешнем воздействии, например значительном увеличении температуры, чувствительный элемент датчика теряет свои свойства и перестает давать правильный выходной сигнал. В этом случае говорят, что датчик вошел в зону нелинейности или в зону насыщения.

### *Воспроизводимость*

Воспроизводимость – это способность датчика при соблюдении одинаковых условий выдавать идентичные результаты. Причинами плохой воспроизводимости результатов часто являются: тепловой шум, поверхностные заряды, пластичность материалов и т.д.

### *Мертвая зона*

Мертвая зона – это отсутствие чувствительности датчика в определенном диапазоне входных сигналов. В пределах этой зоны



выходной сигнал остается постоянным (часто равным нулю).

### *Разрешающая способность*

Разрешающая способность характеризует минимальное изменение измеряемой величины, которое может почувствовать датчик.

### *Физические параметры работы датчиков*

Физические параметры, явления и эффекты, используемые для преобразования неэлектрических величин в электрические сигналы (физика работы датчиков): заряды, поля, потенциалы, ёмкость, сопротивления, магнетизм, индукция, пьезоэлектрический эффект, эффект Холла, Зеебека, Пельтье, звуковые волны, температурные и тепловые явления материалов, теплопередача, световое взаимодействие, биофизические параметры человека и др.

Основные принципы функционирования современных датчиков и их особенности приведены в табл. 1.

| Эффект или явление                          | Преобразование                   | Сущность  |
|---|----------------------------------|---|
| Пироэлектрический эффект                    | Температура - электричество      | Возникновение электростатических зарядов на гранях кристаллов при повышении температуры       |
| Термоэлектрический эффект                   | Тепловая энергия - электроны     | Испускание электронов при нагревании металла в вакууме  |
| Электротермический эффект<br><b>Пельтье</b> | Электричество - тепловая энергия | Поглощение (генерация) тепловой энергии при электроток в цепи с биметаллическими соединениями |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Электротермический эффект<br><b>Томсона</b>              | Температура и электричество -<br>тепловая энергия     | Поглощение (генерация)<br>тепловой энергии при<br>разных температурах<br>участков в однородной<br>цепи         |
| Теплопроводность   | Тепловая энергия -<br>изменение физических<br>свойств | Переход тепла внутри<br>объекта в область с более<br>низкой температурой                                       |
| Тепловое излучение                                       | Тепловая энергия -<br>инфракрасные лучи               | Оптическое излучение при<br>повышении температуры<br>объекта   |
| Эффект <b>Зеебека</b>                                    | Температура -<br>электричество                        | Возникновение ЭДС в цепи<br>с биметаллическими<br>соединениями при разной<br>температуре слоев                 |
| Фотогальванический эффект                                | Свет - электричество                                  | Возникновение ЭДС в<br>облучаемом светом p-n<br>переходе   |
| <i>продолжение таблицы 1.</i>                            |   |  |
| Эффект фотопроводимости                                  | Свет -<br>электросопротивление                        | Изменение<br>электросопротивления<br>полупроводника при его<br>облучении светом                                |
| Эффект <b>Зеемана</b>                                    | Свет, магнетизм -<br>спектр                           | Расщепление спектральных<br>линий при прохождении<br>света в магнитном поле                                    |
| Эффект <b>Рамана</b> (комбинационное<br>рассеяние света) | Свет - свет   | Возникновение в веществе<br>светового излучения,<br>отличного по спектру от<br>исходного<br>монохроматического |

|                         |  |   |
|-------------------------|--|---|
| Эффект <b>Поккельса</b> | Свет и электричество - свет                      | Расщепление светового луча на обыкновенный и необыкновенный при прохождении через пьезокристалл с приложенным к нему электронапряжением |
| Эффект <b>Керра</b>     | Свет и электричество - свет                      | Расщепление светового луча на обыкновенный и необыкновенный в изотопном веществе с приложенным к нему электронапряжением                |
| Эффект <b>Фарадея</b>   | Свет и магнетизм - свет                          | Поворот плоскости поляризации светового луча при прохождении через парамагнитное вещество   |
| Эффект <b>Холла</b>     | Магнетизм и электричество - электричество        | Возникновение разности потенциалов на гранях твердого тела при пропускании через него электротока и приложении магнитного поля          |
| Эффект <b>Доплера</b>   | Звук, свет - частота                             | Изменение частоты при взаимном перемещении объектов   |
| Магнитосопротивление    | Магнетизм и электричество - электросопротивление | Увеличение электрического сопротивления твердого тела в магнитном поле  |
| Магнитострикция         | Магнетизм - деформация                           | Деформация ферромагнитного тела в   |

|                           |                             |   |
|---------------------------|-----------------------------|---|
|                           |                             | магнитном поле  |
| Пьезоэлектрический эффект | Давление -<br>электричество | Возникновение разности потенциалов на гранях сегнетоэлектрика, находящегося под давлением |

### Переменный резистор (потенциометр)

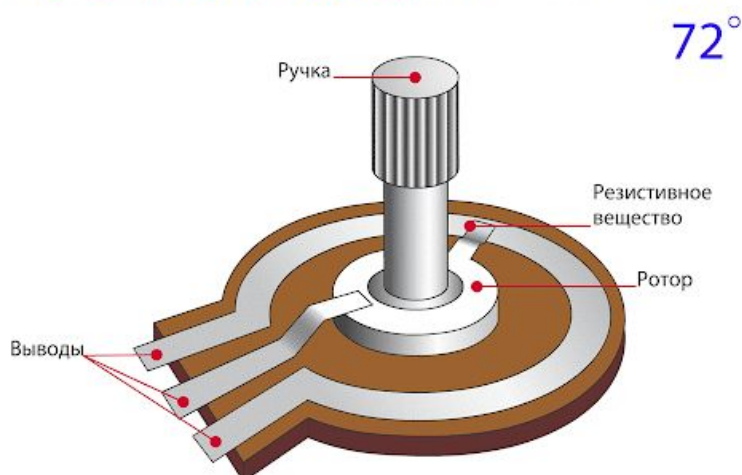
Рассмотрим работу датчиков на примере потенциометра.

Что из себя представляет потенциометр?

Потенциометр — это переменный резистор с регулируемым сопротивлением. Потенциометры используются как регуляторы различных параметров — громкости звука, мощности, напряжения и т.п.

Переменным резистором при повороте ручки происходит изменение сопротивления, то есть при этом создается деление тока.

Ток в этом примере, изменяется вследствие величины сопротивления для определенного участка электрической цепи. Поворотом ручки осуществляется либо падение либо возрастание силы тока.



Чем длиннее участок с резистивным веществом между выводами резистора тем выше сопротивление на этом участке. Чтобы понять зависимость двух физических величин, зависимости силы тока от сопротивления, — вернемся к физике из школьной программы. Итак мы вспомнили, что сила тока возрастает при падении сопротивления для определенного участка электрической цепи и наоборот, как это можно продемонстрировать на реостате.