

# *Автоматизированные комплексы распределенного управления*

*Датчики*

## *Общие понятия*

**Датчики** (в литературе часто называемые также измерительными преобразователями), или по-другому, **сенсоры** являются элементами многих систем автоматике - с их помощью получают информацию о параметрах контролируемой системы или устройства."

## *Общие определения*

**Датчик** – это элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства, преобразующий контролируемую величину (температуру, давление, частоту, силу света, электрическое напряжение, ток и т.д.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, хранения, обработки, регистрации, а иногда и для воздействия им на управляемые процессы.

**Датчик** – это устройство, преобразующее входное воздействие любой физической величины в сигнал, удобный для дальнейшего использования.

# **Классификация Датчиков по различным признакам**

- 1. В зависимости от вида входной (измеряемой) величины;**
- 2. По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина;**
- 3. По принципу действия.**

# По виду входной (измеряемой) величины различают:

1. датчики механических перемещений (линейных и угловых),
2. пневматические,
3. электрические,
4. расходомеры,
5. датчики скорости,
6. ускорения, усилия,
7. температуры,
8. давления и др.

В настоящее время существует приблизительно следующее распределение доли измерений различных физических величин в промышленности: температура – 50%, расход (массовый и объемный) – 15%, давление – 10%, уровень – 5%, количество (масса, объем) – 5%, время – 4%, электрические и магнитные величины – менее 4%.

# По виду входной величины

В настоящее время существует приблизительно следующее распределение доли измерений различных физических величин в промышленности:

1. температура – 50%,
2. расход (массовый и объемный) – 15%,
3. давление – 10%,
4. уровень – 5%,
5. количество (масса, объем) – 5%,
6. время – 4%,
7. электрические и магнитные величины – менее 4%.

По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина, различают:  
неэлектрические и электрические

1. датчики постоянного тока (ЭДС или напряжения),
2. датчики амплитуды переменного тока (ЭДС или напряжения),
3. датчики частоты переменного тока (ЭДС или напряжения),
4. датчики сопротивления (активного, индуктивного или емкостного) и др.

# Положительные стороны Электрических датчиков

- электрические величины удобно передавать на расстояние, причем передача осуществляется с высокой скоростью;
- - электрические величины универсальны в том смысле, что любые другие величины могут быть преобразованы в электрические и наоборот;
- - они точно преобразуются в цифровой код и позволяют достигнуть высокой точности, чувствительности и быстродействия средств измерений.



# По принципу действия

*генераторные* и  
*параметрические* (датчики-модуляторы).

1. Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины в электрический сигнал.

2. Параметрические датчики входную величину преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра ( $R$ ,  $L$  или  $C$ ) датчика.

# По принципу действия

датчики также можно разделить на:

1. омические,
2. реостатные,
3. фотоэлектрические (оптико-электронные),
4. индуктивные,
5. емкостные и д.р.

# Различают три класса

## датчиков:

- аналоговые датчики, т. е. датчики, вырабатывающие аналоговый сигнал, пропорционально изменению входной величины;
- - цифровые датчики, генерирующие последовательность импульсов или двоичное слово;
- - бинарные (двоичные) датчики, которые вырабатывают сигнал только двух уровней: "включено/выключено" (иначе говоря, 0 или 1); получили широкое распространение благодаря своей простоте.

# Требования, предъявляемые к датчикам:

- однозначная зависимость выходной величины от входной;
- стабильность характеристик во времени;
- высокая чувствительность;
- малые размеры и масса;
- отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс и на контролируемый параметр;
- работа при различных условиях эксплуатации;
- различные варианты монтажа.

# Параметрические датчики

**Параметрические датчики** (датчики-модуляторы) входную величину  $X$  преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра ( $R$ ,  $L$  или  $C$ ) датчика. Передать на расстояние изменение перечисленных параметров датчика без энергонесущего сигнала (напряжения или тока) невозможно. Выявить изменение соответствующего параметра датчика только и можно по реакции датчика на ток или напряжение, поскольку перечисленные параметры и характеризуют эту реакцию. Поэтому параметрические датчики требуют применения специальных измерительных цепей с питанием постоянным или переменным током.

# Омические (резистивные) датчики

Омические (резистивные) датчики – принцип действия основан на изменении их активного сопротивления при изменении длины  $l$ , площади сечения  $S$  или удельного сопротивления  $\rho$ :

$$R = \rho l / S$$

Кроме того, используется зависимость величины активного сопротивления от контактного давления и освещённости фотоэлементов. В соответствии с этим омические датчики делят на: *контактные, потенциометрические (реостатные), тензорезисторные, терморезисторные, фоторезисторные.*

# Контактные датчики

**Контактные датчики** — это простейший вид резисторных датчиков, которые преобразуют перемещение первичного элемента в скачкообразное изменение сопротивления электрической цепи. С помощью контактных датчиков измеряют и контролируют усилия, перемещения, температуру, размеры объектов, контролируют их форму и т. д. К контактным датчикам относятся *путевые и концевые выключатели, контактные термометры* и так называемые *электродные датчики*, используемые в основном для измерения предельных уровней электропроводных жидкостей.

# Контактные датчики

Контактные датчики могут работать как на постоянном, так и на переменном токе. В зависимости от пределов измерения контактные датчики могут быть одно предельными и многопредельными. Последние используют для измерения величин, изменяющихся в значительных пределах, при этом части резистора  $R$ , включенного в электрическую цепь, последовательно закорачиваются.





# Контактные датчики

Недостаток контактных датчиков — сложность осуществления непрерывного контроля и ограниченный срок службы контактной системы. Но благодаря предельной простоте этих датчиков их широко применяют в системах автоматике.

# Реостатные датчики

**Реостатные датчики** представляют собой резистор с изменяющимся активным сопротивлением. Входной величиной датчика является перемещение контакта, а выходной – изменение его сопротивления. Подвижный контакт механически связан с объектом, перемещение (угловое или линейное) которого необходимо преобразовать.

# Реостатные датчики

Наибольшее распространение получила потенциометрическая схема включения реостатного датчика, в которой реостат включают по схеме делителя напряжения. Напомним, что делителем напряжения называют электротехническое устройство для деления постоянного или переменного напряжения на части; делитель напряжения позволяет снимать (использовать) только часть имеющегося напряжения посредством элементов электрической цепи, состоящей из резисторов, конденсаторов или катушек индуктивности. Переменный резистор, включаемый по схеме делителя напряжения, называют потенциометром.

# Реостатные датчики

Обычно реостатные датчики применяют в механических измерительных приборах для преобразования их показаний в электрические величины (ток или напряжение), например, в поплавковых измерителях уровня жидкостей, различных манометрах и т. п.

# Реостатные датчики

Датчик в виде простого реостата почти не используется вследствие значительной нелинейности его статической характеристики

$$I_H = f(x),$$

где  $I_H$  - ток в нагрузке.

# Реостатные датчики

Выходной величиной такого датчика является падение напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  между подвижным и одним из неподвижных контактов. Зависимость выходного напряжения от перемещения  $x$  контакта  $U_{\text{ВЫХ}} = f(x)$  соответствует закону изменения сопротивления вдоль потенциометра. Закон распределения сопротивления по длине потенциометра, определяемый его конструкцией, может быть линейным или нелинейным.

# Реостатные датчики

Потенциометрические датчики, конструктивно представляющие собой переменные резисторы, выполняются из различных материалов — обмоточного провода, металлических пленок, полупроводников и т. д.

# Тензорезисторы

**Тензорезисторы** (*тензометрические датчики*) служат для измерения механических напряжений, небольших деформаций, вибрации. Действие тензорезисторов основано на тензоэффekte, заключающемся в изменении активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов под воздействием приложенных к ним усилий.



# Термометрические датчики

**Термометрические датчики** (*терморезисторы*) - сопротивление зависит от температуры.

Терморезисторы в качестве датчиков используют двумя способами:

- 1) Температура терморезистора определяется окружающей средой; ток, проходящий через терморезистор, настолько мал, что не вызывает нагрева терморезистора. При этом условии терморезистор используется как датчик температуры и часто называется «термометром сопротивления».

# Термометрические датчики

2) Температура терморезистора определяется степенью нагрева постоянным по величине током и условиями охлаждения. В этом случае установившаяся температура определяется условиями теплоотдачи поверхности терморезистора (скоростью движения окружающей среды – газа или жидкости – относительно терморезистора, ее плотностью, вязкостью и температурой), поэтому терморезистор может быть использован как датчик скорости потока, теплопроводности окружающей среды, плотности газов и т. п. В датчиках такого рода происходит как бы двухступенчатое преобразование: измеряемая величина сначала преобразуется в изменение температуры терморезистора, которое затем преобразуется в изменение сопротивления

# Термометрические датчики

Терморезисторы изготавливают как из чистых металлов, так и из полупроводников. Материал, из которого изготавливается такие датчики, должен обладать высоким температурным коэффициентом сопротивления, по возможности линейной зависимостью сопротивления от температуры, хорошей воспроизводимостью свойств и инертностью к воздействиям окружающей среды. В наибольшей степени всем указанным свойствам удовлетворяет платина; в чуть меньшей – медь и никель.



# Термометрические датчики

По сравнению с металлическими терморезисторами более высокой чувствительностью обладают полупроводниковые терморезисторы (термисторы).

# Индуктивные датчики

**Индуктивные датчики** служат для бесконтактного получения информации о перемещениях рабочих органов машин, механизмов, роботов и т.п. и преобразования этой информации в электрический сигнал.

Принцип действия индуктивного датчика основан на изменении индуктивности обмотки на магнитопроводе в зависимости от положения отдельных элементов магнитопровода (якоря, сердечника и др.). В таких датчиках линейное или угловое перемещение  $X$  (входная величина) преобразуется в изменение индуктивности ( $L$ ) датчика. Применяются для измерения угловых и линейных перемещений, деформаций, контроля размеров и т.д.

# Индуктивные датчики

В простейшем случае индуктивный датчик представляет собой катушку индуктивности с магнитопроводом, подвижный элемент которого (якорь) перемещается под действием измеряемой величины.

# Индуктивные датчики

Индуктивный датчик распознает и соответственно реагирует на все токопроводящие предметы. Индуктивный датчик является бесконтактным, не требует механического воздействия, работает бесконтактно за счет изменения электромагнитного поля.

# Индуктивные датчики

## *Преимущества*

- нет механического износа, отсутствуют отказы, связанные с состоянием контактов
- отсутствует дребезг контактов и ложные срабатывания
- высокая частота переключений до 3000 Hz
- устойчив к механическим воздействиям



# Индуктивные датчики

**Недостатки** - сравнительно малая чувствительность, зависимость индуктивного сопротивления от частоты питающего напряжения, значительное обратное воздействие датчика на измеряемую величину (за счет притяжения якоря к сердечнику).

# Емкостные датчики

**Емкостные датчики** - принцип действия основан на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров, взаимного расположения его обкладок и от диэлектрической проницаемости среды между ними.

# Емкостные датчики

Для двухобкладочного плоского конденсатора электрическая емкость определяется выражением:

$$C = \epsilon_0 \epsilon S/h$$

где  $\epsilon_0$  - диэлектрическая постоянная;  $\epsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками;  $S$  - активная площадь обкладок;  $h$  - расстояние между обкладками конденсатора.

Зависимости  $C(S)$  и  $C(h)$  используют для преобразования механических перемещений в изменение емкости.

# Емкостные датчики

Емкостные датчики, также как и индуктивные, питаются переменным напряжением (обычно повышенной частоты - до десятков мегагерц). В качестве измерительных схем обычно применяют мостовые схемы и схемы с использованием резонансных контуров. В последнем случае, как правило, используют зависимость частоты колебаний генератора от емкости резонансного контура, т.е. датчик имеет частотный выход.

# Емкостные датчики

Достоинства емкостных датчиков - простота, высокая чувствительность и малая инерционность. Недостатки - влияние внешних электрических полей, относительная сложность измерительных устройств.

# Емкостные датчики

Емкостные датчики применяют для измерения угловых перемещений, очень малых линейных перемещений, вибраций, скорости движения и т. д., а также для воспроизведения заданных функций (гармонических, пилообразных, прямоугольных и т. п.).

# Емкостные датчики

Емкостные преобразователи, диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  которых изменяется за счет перемещения, деформации или изменения состава диэлектрика, применяют в качестве датчиков уровня непроводящих жидкостей, сыпучих и порошкообразных материалов, толщины слоя непроводящих материалов (толщиномеры), а также контроля влажности и состава вещества.

# Датчики – генераторы

**Генераторные датчики** осуществляют непосредственное преобразование входной величины  $X$  в электрический сигнал. Такие датчики преобразуют энергию источника входной (измеряемой) величины сразу в электрический сигнал, т.е. они являются как бы генераторами электроэнергии (откуда и название таких датчиков - они генерируют электрический сигнал).



# Генераторные датчики

Дополнительные источники электроэнергии для работы таких датчиков принципиально не требуются (тем не менее дополнительная электроэнергия может потребоваться для усиления выходного сигнала датчика, его преобразования в другие виды сигналов и других целей). Генераторными являются термоэлектрические, пьезоэлектрические, индукционные, фотоэлектрические и многие другие типы датчиков.

# Индукционные датчики

**Индукционные датчики** преобразуют измеряемую неэлектрическую величину в ЭДС индукции. Принцип действия датчиков основан на законе электромагнитной индукции. К этим датчикам относятся тахогенераторы постоянного и переменного тока, представляющие собой небольшие электромашинные генераторы, у которых выходное напряжение пропорционально угловой скорости вращения вала генератора. Тахогенераторы используются как датчики угловой скорости

# Индукционные датчики

Тахогенератор представляет собой электрическую машину, работающую в генераторном режиме. При этом вырабатываемая ЭДС пропорциональна скорости вращения и величине магнитного потока. Кроме того, с изменением скорости вращения изменяется частота ЭДС. Применяются как датчики скорости (частоты вращения).

# Температурные датчики.

**Температурные датчики.** В современном промышленном производстве наиболее распространенными являются измерения температуры (так, на атомной электростанции среднего размера имеется около 1500 точек, в которых производится такое измерение, а на крупном предприятии химической промышленности подобных точек присутствует свыше 20 тыс.). Широкий диапазон измеряемых температур, разнообразие условий использования средств измерений и требований к ним определяют многообразие применяемых средств измерения температуры.

# Температурные датчики.

Если рассматривать датчики температуры для промышленного применения, то можно выделить их основные классы: кремниевые датчики температуры, биметаллические датчики, жидкостные и газовые термометры, термоиндикаторы, термисторы, термопары, термопреобразователи сопротивления, инфракрасные датчики.

# Кремниевые датчики температуры

## Кремниевые датчики

температуры используют зависимость сопротивления полупроводникового кремния от температуры. Диапазон измеряемых температур  $-50 \dots +150$  °С.

Применяются в основном для измерения температуры внутри электронных приборов

# Биметаллический датчик

**Биметаллический датчик** сделан из двух разнородных металлических пластин, скрепленных между собой. Разные металлы имеют различный температурный коэффициент расширения. Если соединенные в пластину металлы нагреть или охладить, то она изогнется, при этом замкнет (разомкнет) электрические контакты или переведет стрелку индикатора. Диапазон работы биметаллических датчиков  $-40 \dots +550$  °С. Используются для измерения поверхности твердых тел и температуры жидкостей. Основные области применения – автомобильная промышленность, системы отопления и нагрева воды.



# Термоиндикаторы

**Термоиндикаторы** – это особые вещества, изменяющие свой цвет под воздействием температуры. Изменение цвета может быть обратимым и необратимым. Производятся в виде пленок.



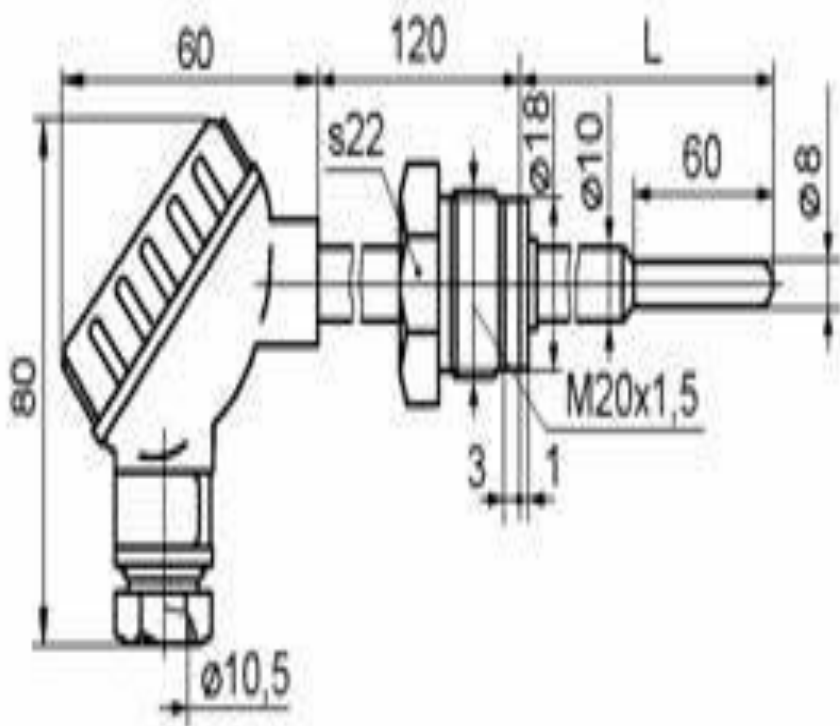
# Термопреобразователи сопротивления

Принцип действия термопреобразователей сопротивления (терморезисторов) основан на изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников в зависимости от температуры (рассмотрен ранее).

# Термоэлектрические преобразователи (термопары)

**Термоэлектрические преобразователи (термопары) -** принцип действия термопар основан на термоэлектрическом эффекте, который состоит в том, что при наличии разности температур мест соединений (спаев) двух разнородных металлов или полупроводников в контуре возникает электродвижущая сила, называемая термоэлектродвижущей (сокращенно термо-ЭДС). В определенном интервале температур можно считать, что термо-ЭДС прямо пропорциональна разности температур  $\Delta T = T_1 - T_0$  между спаем и концами термопары.

# Термоэлектрические преобразователи (термопары)



*Схема*

*Термопреобразовате  
ля ТХАУ/1-0288Ех*

# Термоэлектрические преобразователи (термопары)

Соединенные между собой концы термопары, погружаемые в среду, температура которой измеряется, называют рабочим концом термопары. Концы, которые находятся в окружающей среде, и которые обычно присоединяют проводами к измерительной схеме, называют свободными концами.


Температуру этих концов необходимо поддерживать постоянной. При этом условии термо-ЭДС  $E_T$  будет зависеть только от температуры  $T_1$  рабочего конца.

$$U_{\text{вых}} = E_T = C(T_1 - T_0),$$

где  $C$  – коэффициент, зависящий от материала проводников термопары.

# Термоэлектрические преобразователи (термопары)

Создаваемая термопарами ЭДС сравнительно невелика: она не превышает 8 мВ на каждые  $100^{\circ}\text{C}$  и обычно не превышает по абсолютной величине 70 мВ. Термопары позволяют измерять температуру в диапазоне от  $-200$  до  $2200^{\circ}\text{C}$ .



# **Термоэлектрические преобразователи (термопары)**

Наибольшее распространение для изготовления термоэлектрических преобразователей получили платина, платиnorodий, хромель, алюмель.

# Термоэлектрические преобразователи (термопары)

Термопары имеют следующие преимущества: простота изготовления и надёжность в эксплуатации, дешевизна, отсутствие источников питания и возможность измерений в большом диапазоне температур.

# Термоэлектрические преобразователи (термопары)

Наряду с этим термопарам свойственны и некоторые недостатки - меньшая, чем у терморезисторов, точность измерения, наличие значительной тепловой инерционности, необходимость введения поправки на температуру свободных концов и необходимость в применении специальных соединительных проводов.



# Термисторные сенсоры

Термистор представляет собой устройство для измерения изменений температуры. В основе его действия лежит явление уменьшения электрического сопротивления (приблизительно  $4-7\%/^{\circ}\text{C}$ ) оксидов металлов ( $\text{BaO}/\text{CaO}$ , оксид переходного металла), сплавленных при высокой температуре.

# Термисторные сенсоры

Существует два основных подхода к использованию термисторов в калориметрических сенсорах. В соответствии с одним термистор помещают в ячейку детектора для измерения температурных изменений, после того как раствор аналита пропускают через слой иммобилизованного фермента. Хотя такую детекторную систему и можно приспособить для определения нескольких аналитов, для этого нужны значительные количества фермента.

# Термисторные сенсоры

Второй подход заключается в иммобилизации фермента непосредственно на поверхности термистора. В этом случае сенсор может быть миниатюрным и его можно поместить в проточную аналитическую систему. Рассмотрим для примера два типа термисторных химических сенсоров

# Термисторные сенсоры

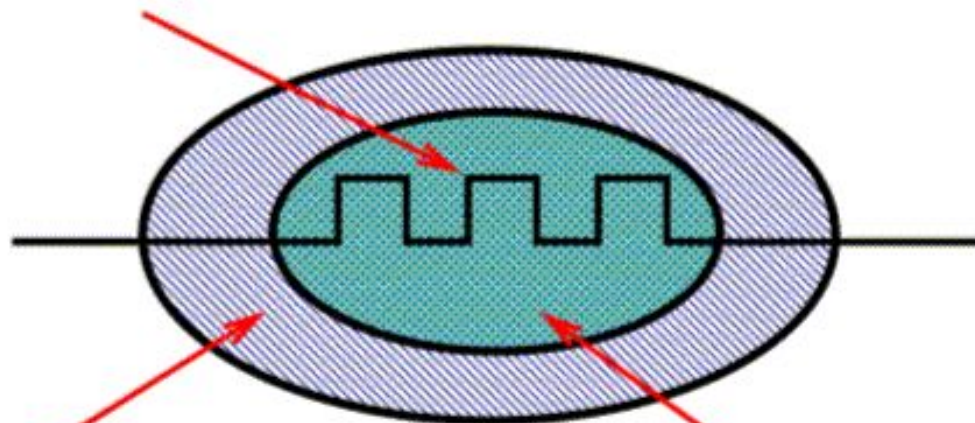
## Каталитические газовые сенсоры

Каталитические газовые сенсоры широко используются для определения горючих газов (метана, этана, пропана, угарного газа и водорода) и паров (бензина, органических растворителей) в воздухе.

# Термисторные сенсоры

Пеллистор представляет собой газовый сенсор, основанный на том же принципе, что и предыдущий, то есть в нем тоже использована платиновая спираль в качестве

Резисторный термометр  
из платиновой проволоки



Каталитический слой

Шарик из керамики

# Термисторные сенсоры

- Сенсор по теплопроводности

Действие этого типа сенсоров, в отличие от термисторных и каталитических, не связано с химическими реакциями, протекающими на поверхности сенсора. В основе их действия – измерение теплопроводности газов.

# Инфрокрасные датчики (пирометры)

используют энергию излучения нагретых тел, что позволяет измерять температуру поверхности на расстоянии. Пирометры делятся на радиационные, яркостные и цветные.

# Пьезоэлектрические датчики

Действие пьезоэлектрических датчиков основано на использовании пьезоэлектрического эффекта (пьезоэффекта), заключающегося в том, что при сжатии или растяжении некоторых кристаллов на их гранях появляется электрический заряд, величина которого пропорциональна действующей силе.



# Пьезоэлектрические датчики

Пьезоэффект обратим, т. е. приложенное электрическое напряжение вызывает деформацию пьезоэлектрического образца - сжатие или растяжение его соответственно знаку приложенного напряжения. Это явление, называемое обратным пьезоэффектом, используется для возбуждения и приема акустических колебаний звуковой и ультразвуковой частоты.

Используются для измерения сил, давления, вибрации и т.д.

# Оптические (фотоэлектрические) датчики

Различают *аналоговые* и *дискретные* оптические датчики. У аналоговых датчиков выходной сигнал изменяется пропорционально внешней освещенности. Основная область применения – автоматизированные системы управления освещением.



# Оптические (фотоэлектрические) датчики

Датчики дискретного типа изменяют выходное состояние на противоположное при достижении заданного значения освещенности.

# Оптические (фотоэлектрические) датчики

Фотоэлектрические датчики могут быть применены практически во всех отраслях промышленности. Датчики дискретного действия используются как своеобразные бесконтактные выключатели для подсчета, обнаружения, позиционирования и других задач на любой технологической линии.

# Оптические (фотоэлектрические) датчики

Оптический бесконтактный датчик, регистрирует изменение светового потока в контролируемой области, связанное с изменением положения в пространстве каких-либо движущихся частей механизмов и машин, отсутствия или присутствия объектов. Благодаря большим расстояниям срабатывания оптические бесконтактные датчики нашли широкое применение в промышленности и не только.

# Оптические (фотоэлектрические) датчики

Оптический бесконтактный датчик состоит из двух функциональных узлов, приемника и излучателя. Данные узлы могут быть выполнены как в одном корпусе, так и в различных корпусах.

# Оптические (фотоэлектрические) датчики

*По методу обнаружения объекта  
фотоэлектрические датчики  
подразделяются на 4 группы:*

- 1.пересечение луча**
- 2.отражение от рефлектора**
- 3.отражение от объекта**
- 4.фиксированное отражение от объекта**

# Оптические (фотоэлектрические) датчики

**пересечение луча** - в этом методе передатчик и приемник разделены по разным корпусам, что позволяет устанавливать их напротив друг друга на рабочем расстоянии. Принцип работы основан на том, что передатчик постоянно посылает световой луч, который принимает приемник. Если световой сигнал датчика прекращается, в следствии перекрытия сторонним объектом, приемник немедленно реагирует меняя состояние выхода.



# Оптические (фотоэлектрические) датчики

**отражение от рефлектора** - в этом методе приемник и передатчик датчика находятся в одном корпусе. Напротив датчика устанавливается рефлектор (отражатель). Датчики с рефлектором устроены так, что благодаря поляризационному фильтру они воспринимают отражение только от рефлектора. Это рефлекторы, которые работают по принципу двойного отражения. Выбор подходящего рефлектора определяется требуемым расстоянием и монтажными возможностями.

# Оптические (фотоэлектрические) датчики

**отражение от объекта** - в этом методе приемник и передатчик датчика находятся в одном корпусе. Во время рабочего состояния датчика все объекты, попадающие в его рабочую зону, становятся своеобразными рефлекторами. Как только световой луч отразившись от объекта попадает на приемник датчика, тот немедленно реагирует, меняя состояние выхода.

# Оптические (фотоэлектрические) датчики

**фиксированное отражение от объекта** - принцип действия датчика такой же как и у "отражение от объекта" но более чутко реагирующий на отклонение от настройки на объект. Например, возможно детектирование вздутой пробки на бутылке с кефиром, неполное наполнение вакуумной упаковки с продуктами и т.д.

# Оптические (фотоэлектрические) датчики

По своему назначению фотодатчики делятся на две основные группы: датчики общего применения и специальные датчики. К специальным, относятся типы датчиков, предназначенные для решения более узкого круга задач. К примеру, обнаружение цветной метки на объекте, обнаружение контрастной границы, наличие этикетки на прозрачной упаковке и т.д.



# Оптические (фотоэлектрические) датчики

Задача датчика обнаружить объект на расстоянии. Это расстояние варьируется в пределах 0,3мм-50м, в зависимости от выбранного типа датчика и метода обнаружения.