

# Тема 1. Основы проектирования информационных устройств

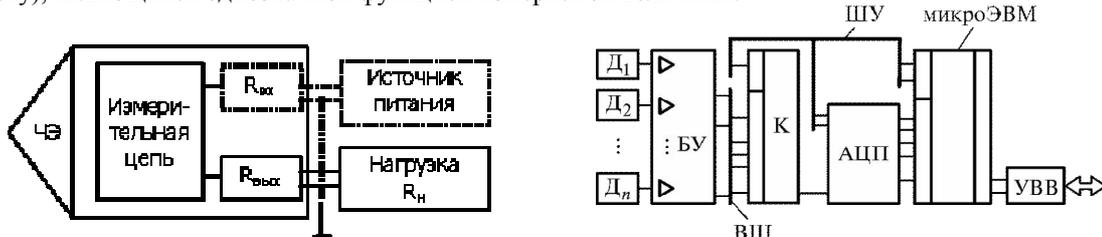
План занятия

1. Основные понятия и определения
2. Датчики и их характеристики
3. Основы теории измерений

## 1. Основные понятия и определения

**Чувствительным элементом (ЧЭ)** или **первичным преобразователем**, называется простейший элемент информационной системы, изменяющий свое **состояние** под действием внешнего возмущения. Примерами ЧЭ являются фотодиод, катушка индуктивности, тензорезистор.

**Датчик** (измерительный преобразователь) представляет собой **устройство**, которое под воздействием измеряемой физической величины выдает эквивалентный **сигнал** (обычно электрической природы — заряд, ток, напряжение или частоту), являющийся однозначной функцией измеряемой величины.



Простейший датчик состоит из одного или нескольких первичных преобразователей и **измерительной цепи**. Большинство датчиков имеет внешний источник питания, а в качестве нагрузки может быть использован усилитель, измерительный прибор, блок сопряжения с компьютером и т. п.

**Информационная система** — система передачи и приема информации, включающая источник информации, передатчик, канал связи, приемник информации и источник помех.

### Состав информационной (сенсорной) системы



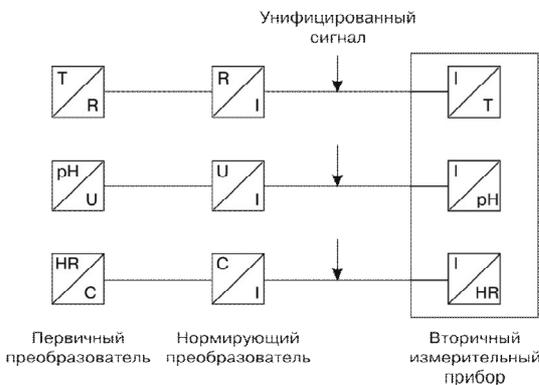
**Генераторные датчики** являются источником непосредственно выдаваемого электрического сигнала. Это – термоэлектрические преобразователи; устройства, в основе функционирования которых лежат пиро- и пьезоэлектрические эффекты, явление электромагнитной индукции, фотоэффект, эффект Холла и др.

В **параметрических датчиках** под воздействием измеряемой величины меняются некоторые параметры выходного импеданса.

**Импеданс** датчика обусловлен геометрией и размером ЧЭ, а также электромагнитными свойствами материала:

- удельным электросопротивлением  $\rho$ ,
- относительной магнитной проницаемостью  $\mu$ ,
- относительной диэлектрической проницаемостью.

Унифицированным преобразователем — **трансмисмитером** — является датчик, имеющий нормированный диапазон сигнала на выходе. Международный стандарт DIN/VDE 26001, а также ГОСТ 26.011-80 устанавливает допустимые диапазоны унифицированных сигналов, а также вводят ограничения на величину сопротивления источников и приемников этих сигналов



Сигнал напряжения, В	Нагрузочное сопротивление, Ом, не более	Входное сопротивление приемника, Ом, не менее
От 0 до 0,01 включит.	—	10000
От 0 до 1 включит.	—	10000
От 0 до 10 включит.	2000	—
Сигнал тока, мА	Выходное сопротивление источника, Ом, не менее	Входное сопротивление приемника, Ом, не более
От 0 до 5 включит.	2500 (2000)	500
От 0 до 20 включит.	1000 (500)	250
От 4 до 20 включит.	1000 (500)	250

В **робототехнике** среди стандартных выходных сигналов унифицированных датчиков наиболее популярен сигнал напряжения 0 ... 10 В, в **промышленности** — токовый сигнал 4 ... 20 мА.

**Адаптивной** называется система, которая может приспосабливаться к изменению внутренних и внешних условий. Простейшей адаптивной системой можно считать систему с обратной связью - **следающую систему**.

## 2. Датчики и их характеристики

Математическое (или графическое) описание связи изменения выходного сигнала датчика в зависимости от изменения входного называется **функцией преобразования** датчика

Функция преобразования датчика может быть как линейной, так и нелинейной

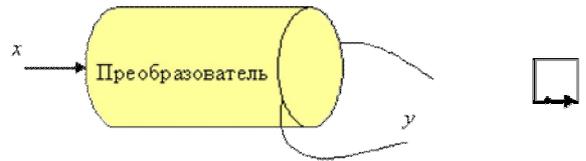
- линейная
- логарифмическая
- экспоненциальная
- степенная

$$y =$$

$$y =$$

$$y =$$

$$y =$$



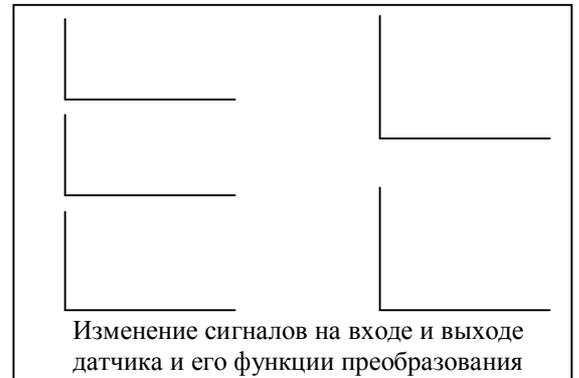
**Избирательностью**  $k$ -го канала измерительной системы называется выражение вида:

$$\boxed{\phantom{0}}$$

Для **линейных систем** избирательность характеризуется **коэффициентом влияния** каналов:

$$\boxed{\phantom{0}}$$

Наряду с избирательностью часто используют термин **селективность** — способность датчика выделять полезный сигнал на фоне посторонних воздействий (помех). В радиотехнике наиболее распространена частотная селективность.



### Чувствительность

**Чувствительность датчика** — свойство средства измерений, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого средства к вызывающему его изменению измеряемой величины.

**Абсолютная чувствительность** — отношение изменения выходного сигнала к абсолютному изменению измеряемой величины.

**Относительная чувствительность** — отношение изменения выходного сигнала к относительному изменению измеряемой величины.

**Порог чувствительности** (пороговая чувствительность) — характеристика датчика в виде наименьшего значения изменения физической величины, измеряемое данным средством.

**Динамическую чувствительность** можно определить лишь в случае, когда измеряемая величина  $x$  является **периодической** функцией и выходной сигнал  $y$  имеет ту же периодичность, что и  $x$ .

Обычно измеряемый сигнал  $x$  **не является** гармонической функцией и сложным образом изменяется во времени. В этом случае функцию  $y(t)$  раскладывают в ряд Фурье:

$$\boxed{\phantom{0}}$$

### Частотная характеристика

Зависимость динамической чувствительности от частоты сигнала представляет собой **частотную характеристику** датчика.

Датчики **первого порядка** (например, свето- и фотодиоды) в своей структуре не содержат колеблющихся частей и характеризуются **граничной частотой**  $f_f$ :

$$\boxed{\phantom{0}}$$

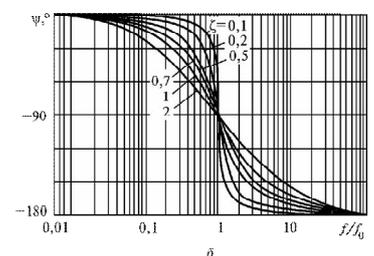
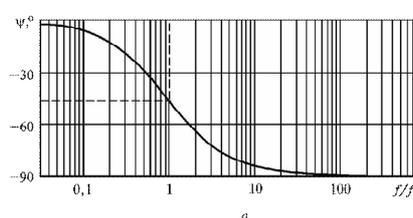
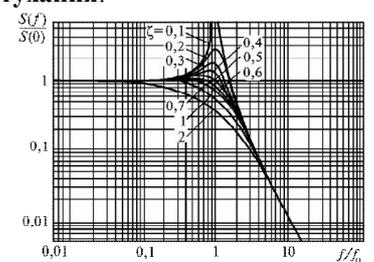
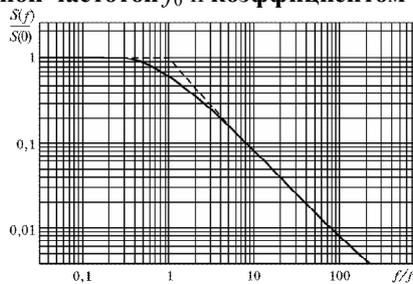
Датчики **второго порядка** (например, пьезоэлектрические акселерометры) содержат в своей структуре колеблющиеся элементы и характеризуются **собственной частотой**  $f_0$  и **коэффициентом затухания**:

$$\boxed{\phantom{0}}$$

Частотные характеристики датчиков первого и второго порядков:

$$\boxed{\phantom{0}}$$

Зависимость амплитуды датчика от его частоты представляет собой его **амплитудно-частотную характеристику**. Для датчиков первого порядка наклон АЧХ составляет -20 дБ/дек, для датчиков второго порядка -40 дБ/дек



**Полоса пропускания  $B$**  датчика — это диапазон частот, в котором ординаты АЧХ уменьшаются относительно их максимального значения не более чем на 3 дБ

Для датчика первого порядка

Для датчика второго порядка



Обычно диапазон частот входных воздействий датчика выбирают либо значительно **ниже**, либо **выше** собственной частоты  $f_0$

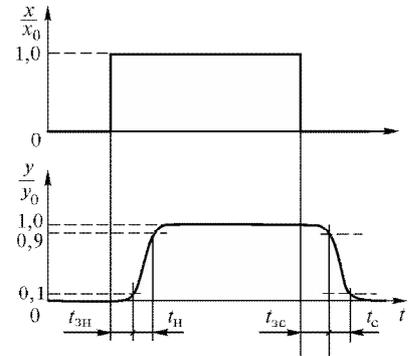
Датчик называется **линейным** в некотором диапазоне измеряемой величины  $x$ , если его чувствительность не зависит от значения этой величины.

В **динамическом режиме** линейность датчика зависит от чувствительности в статическом режиме  $S(0)$  и от параметров частотной характеристики  $f_r$ ,  $f_0$  и  $\zeta$ .

На практике линейность датчика определяют по его **градуировочной характеристике**. Эту характеристику снимают экспериментальным путем, причем распределение экспериментальных данных аппроксимируют уравнением некоторой прямой, используя метод наименьших квадратов.

Основные параметры градуировочной характеристики:

- **гистерезис** (разность значений выходного сигнала для одного и того же значения входной величины при ее возрастании и убывании),
- **мертвая зона** (нечувствительность в некотором диапазоне входных величин)
- **насыщение** (значительное отклонение от линейности при значениях входной величины, большей некоторого значения).



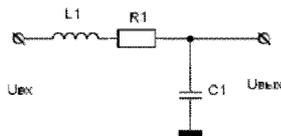
**Быстродействие и время установления**

**Быстродействие** — это параметр датчика, позволяющий оценить, как выходной сигнал следует во времени за изменением измеряемой величины

Параметр, используемый для количественного описания быстродействия, называется **временем установления**  $t_{уст}$  — это интервал времени, который должен пройти после приложения ступенчатого сигнала, для того чтобы сигнал на выходе датчика достиг уровня, отличающегося от входного не более чем на заданную величину  $\varepsilon$ .

**Переходная функция  $h(t)$**  — в теории управления реакция динамической системы на входное воздействие в виде **функции Хевисайда**. Зная переходную функцию (характеристику), можно определить реакцию системы  $y(t)$  на произвольное входное воздействие  $x(t)$  с помощью интеграла Дюамеля-Карсона:

**Электрическим аналогом датчика** можно считать последовательный  $RLC$ -контур



**Время установления  $t_{уст}$**  датчика можно определить по графику переходного процесса

Для датчиков **первого** порядка

Для датчиков **второго** порядка



На быстродействие датчика также влияют факторы, не связанные с ним непосредственно, например окружающая среда.

**Декремент затухания  $\delta$**  (не путать с **коэффициентом затухания  $\zeta$** ) — величина, обратная числу колебаний, по истечении которых максимальное значение амплитуды убывает в  $e$  раз:

### 3. Основы теории измерений

В теории управления понятия **измерение** и **информация** связаны с представлениями о **неопределенности** и **энтропии**.

- **Измерение** — процесс устранения некоторой части неопределенности в системе в процессе получения информации.
- **Информация** — сообщения, получаемые системой из внешнего мира при **адаптивном управлении** (приспособлении, самосохранении системы управления).

Согласно Шеннону, **количество информации  $I$** , полученной при измерении определяется как **разность неопределенностей** до и после проведения измерения:



Неопределенность результата измерений характеризуется стандартным **отклонением** и **доверительным интервалом**.

- **Стандартное** (среднеквадратичное) **отклонение** — наиболее распространенный показатель рассеивания значений случайной величины относительно её математического ожидания.
- **Доверительный интервал** — это интервал, построенный с помощью случайной выборки из распределения с неизвестным параметром, такой, что он содержит данный параметр с **заданной вероятностью**.

**Погрешность прибора** — разность между показаниями данного прибора и действительным значением измеряемой величины, которая вычисляется или определяется по эталону

В **метрологии** погрешность прибора (датчика) определяют через реальную и номинальную функции преобразования.

- **Реальная функция преобразования** является полной характеристикой датчика и сложной функцией измеряемого параметра; ее вид зависит от множества влияющих факторов.
- **Номинальная функция преобразования** — это функция, приписываемая датчику и **приблизительно** выражающая зависимость информативного параметра на выходе от значений измеряемого параметра.

Объективное свойство измерителя, связанное с различием реальной и номинальной функций преобразования, называется **погрешностью**.

Датчик характеризуется **диапазоном измерения** или **динамическим диапазоном**.

**Диапазоном измеряемых значений** (в зарубежной литературе —  $FS$ ) называется динамический диапазон внешних воздействий, который может воспринять датчик. Численно он приблизительно соответствует максимальному значению входного сигнала.

**Диапазоном выходных значений** ( $FSO$ ) называется разность между выходными сигналами датчика, полученными при максимальном и минимальном внешнем воздействии.

Для датчиков с нелинейной функцией преобразования диапазоны измеряемых и выходных значений часто выражают логарифмическими единицами — **децибелами**.



Под термином «**динамический диапазон измерения**» или «**диапазон преобразования**» часто понимают отношение (или логарифм отношения) максимально возможного значения измеряемой величины к минимально возможному, определяемому уровнем собственных **шумов** или **внешних помех**.

**Классификация погрешностей**

- по способу выражения (  )
- по функции преобразования (  )
- по форме проявления (  )



Функция преобразования датчика при наличии погрешности имеет вид



Относительная аддитивная погрешность определяет **порог чувствительности** или **разрешающую способность** датчика. Аддитивная погрешность часто называется «**погрешностью нуля**».

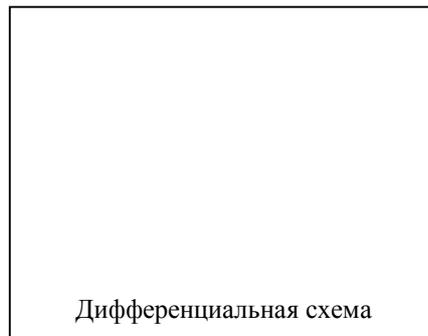
**Систематической** называется погрешность, имеющая детерминированную функциональную связь с вызывающим ее источником, при этом как сама функция, так и ее аргумент известны.

**Случайной** является погрешность, появление которой происходит со случайной амплитудой и фазой. Причины ее возникновения могут быть ясны, однако значение в момент измерений неизвестно.

### Способы компенсации погрешностей

- систематической (  )
- случайной (  )

Пример компенсации температурной систематической погрешности (для датчика с металлическими ЧЭ)



Для устранения **случайной** погрешности применяют схемотехнические решения (симметричные **дифференциальные** схемы), а также **корреляционные** методы обработки результатов. Если же ее устранить не удастся, используют **статистическую** обработку результатов измерений для определения наиболее вероятного значения измеренной величины и погрешности датчика. Результаты измерений и их расхождение характеризуют следующие показатели:

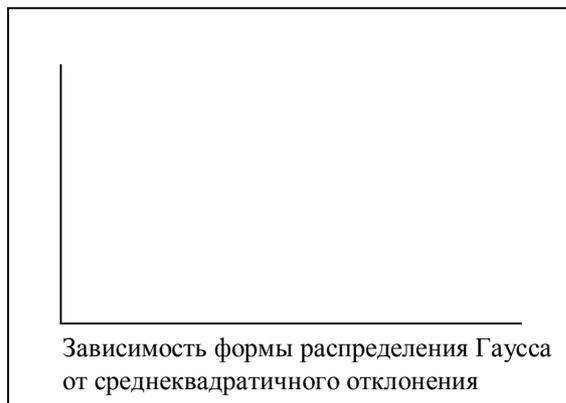
- **математическое ожидание**

- **средняя квадратическая погрешность**

- **дисперсия**

Если погрешности различных измерений **независимы** между собой, то вероятность их появления описывается **нормальным** (Гауссовым) распределением  $P(y)$

При этом, наиболее вероятное значение  $y = y_{ср}$ , а вероятность попадания результатов измерения в заданные пределы составляет:



### Интегральные оценки точности

- **Постоянство** датчика — это такое его свойство, для которого характерна малая **случайная** погрешность. В этом случае обеспечивается высокая сходимости результатов измерений.
- **Правильностью** называется способность датчика выдавать результат с малой систематической погрешностью. (Наиболее вероятное значение измеряемой величины близко к истинному.)
- Точность обозначает способность датчика выдавать результаты, индивидуально близкие к истинному значению измеряемой величины. Высокие постоянство и правильность датчика обеспечиваются одновременно.

