

Тема 1. Основы проектирования информационных устройств

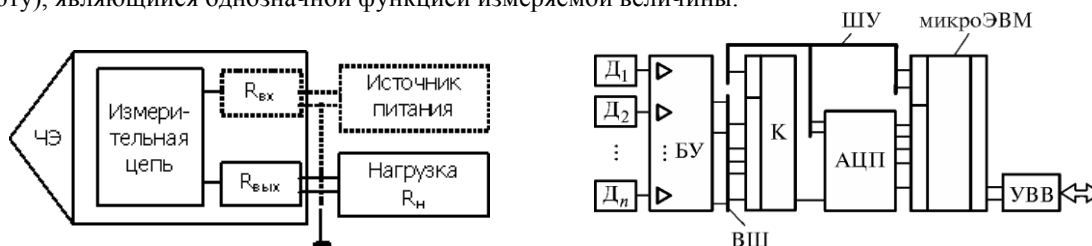
План занятия

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.

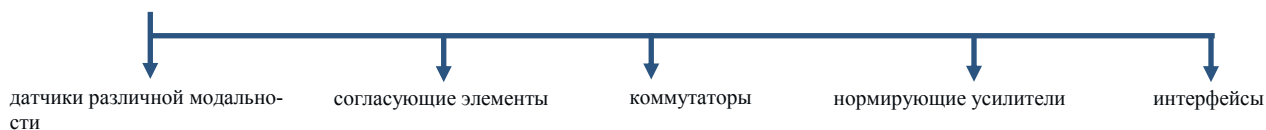
Датчик (измерительный преобразователь) представляет собой **устройство**, которое под воздействием измеряемой физической величины выдает эквивалентный **сигнал** (обычно электрической природы — заряд, ток, напряжение или частоту), являющийся однозначной функцией измеряемой величины.



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



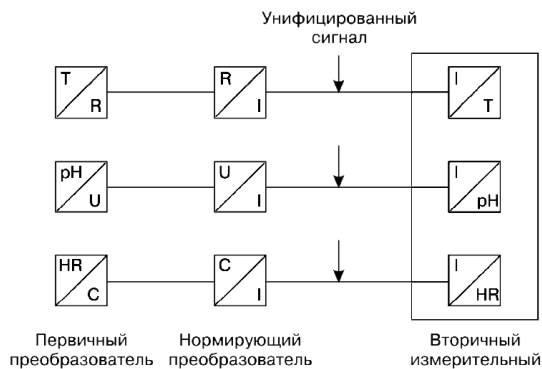
Генераторные датчики являются источником непосредственно выдаваемого электрического сигнала. Это – термоэлектрические преобразователи; устройства, в основе функционирования которых лежат пиро- и пьезоэлектрические эффекты, явление электромагнитной индукции, фотоэффект, эффект Холла и др.

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 ρ ,
- относительной магнитной проницаемостью μ ,
- 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 - **следящую 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

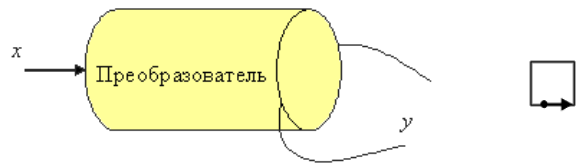
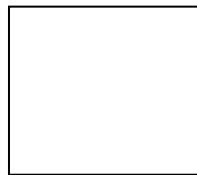
- линейная
- логарифмическая
- экспоненциальная
- степенная

$$y =$$

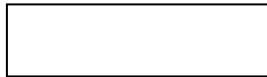
$$y =$$

$$y =$$

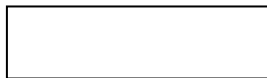
$$y =$$



Избирательностью k -го канала измерительной системы называется выражение вида:



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



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.

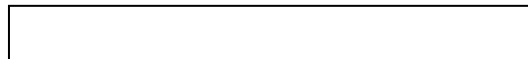
Абсолютная чувствительность — отношение изменения выходного сигнала к абсолютному изменению измеряемой величины.

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 .

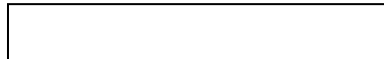
Обычно измеряемый сигнал x **не является** гармонической функцией и сложным образом изменяется во времени. В этом случае функцию $y(t)$ раскладывают в ряд Фурье:



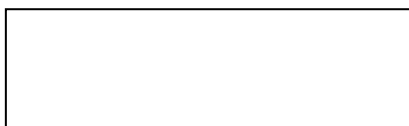
Частотная характеристика

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

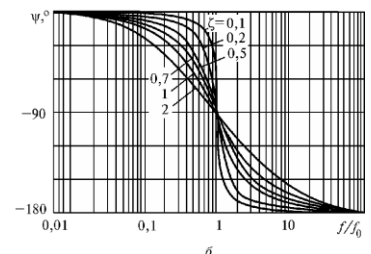
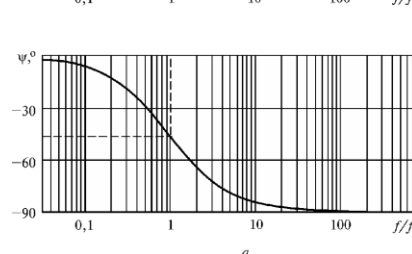
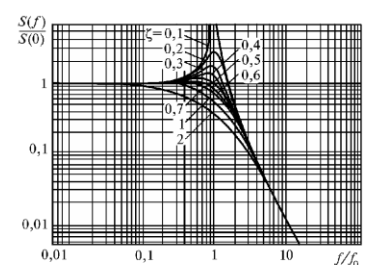
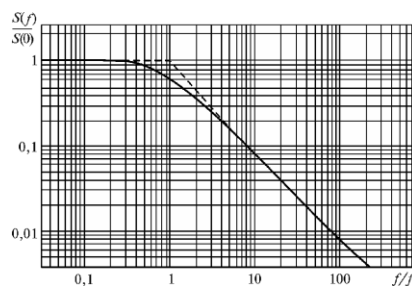
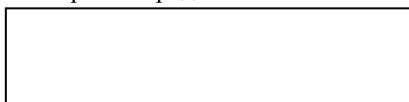
Датчики **первого порядка** (например, свето- и фотодиоды) в своей структуре не содержат колеблющихся частей и характеризуются **граничной частотой** f_1 :



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



Частотные характеристики датчиков первого и второго порядков:

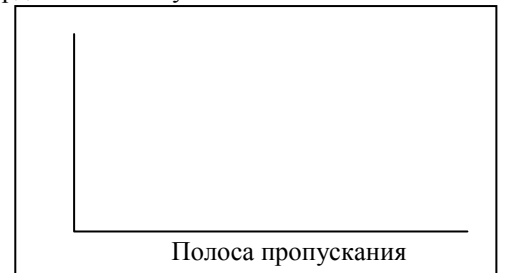


Зависимость амплитуды датчика от его частоты представляет собой его **амплитудно-частотную характеристику**. Для датчиков первого порядка наклон АЧХ составляет -20 дБ/дек, для датчиков второго порядка - 40 дБ/дек

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

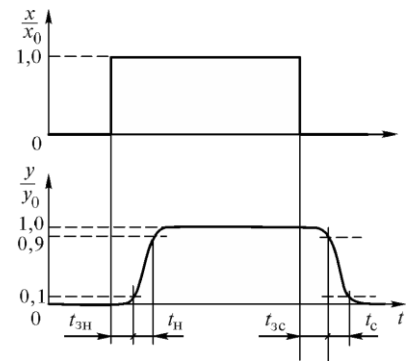
Датчик называется **линейным** в некотором диапазоне измеряемой величины x , если его чувствительность не зависит от значения этой величины.

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

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).



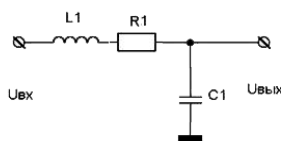
Быстродействие и время установления

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 ε .

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 δ (не путать с **коэффициентом затухания** ζ) — величина, обратная числу колебаний, по истечении которых максимальное значение амплитуды убывает в e раз:

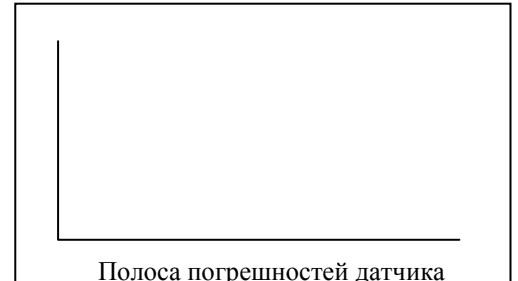
3. Основы теории измерений

Точность средства измерений — степень совпадения показаний измерительного прибора с истинным значением измеряемой величины.

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 **приближенно** выражающая зависимость информативного параметра на выходе от значений измеряемого параметра.



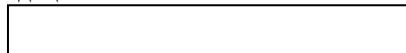
Объективное свойство измерителя, связанное с различием реальной и номинальной функций преобразования, называется **погрешностью**.

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**.



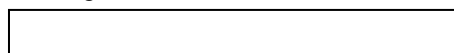
Под термином «**динамический диапазон измерения**» или «**диапазон преобразования**» часто понимают отношение (или логарифм отношения) максимально возможного значения измеряемой величины к минимально возможному, определяемому уровнем собственных **шумов** или **внешних помех**.

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

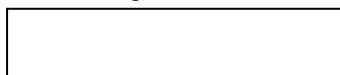
- систематической ()
- случайной ()

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 $y = y_{\text{ср}}$, а вероятность попадания результатов измерения в заданные пределы составляет:



Дифференциальная схема

Зависимость формы распределения Гаусса от среднеквадратичного отклонения

Интегральные оценки точности

- **Постоянство** датчика — это такое его свойство, для которого характерна малая **случайная** погрешность. В этом случае обеспечивается высокая сходимость 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.



Кривые распределения выходной величины, характеризующие постоянство (a), правильность (b) и точность (σ) датчика