

23.03.2020

Тема 2.1. Классификация и основные характеристики первичных преобразователей

1. Общие сведения о преобразователях

Ни одна система управления не может работать без **информации о состоянии объекта управления** и его реакции на управляющие воздействия. Элементами систем, обеспечивающими получение такой информации, являются измерительные преобразователи. Специалисты по автоматике также используют термины «первичный преобразователь» или «датчик».

Датчик (измерительный преобразователь, чувствительный элемент) – устройство, предназначенное для того, чтобы информацию, поступающую на его вход в виде некоторой физической величины, функционально преобразовать в другую физическую величину на выходе, более удобную для воздействия на последующие элементы (блоки).

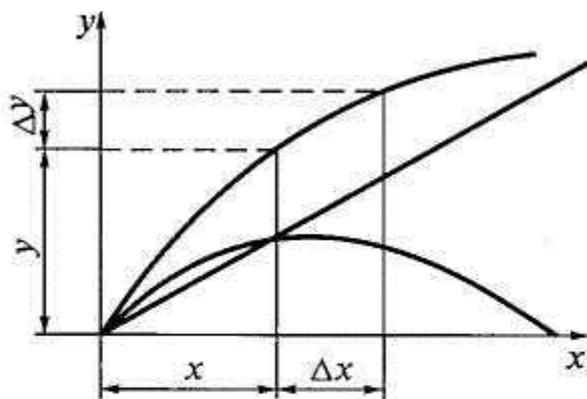
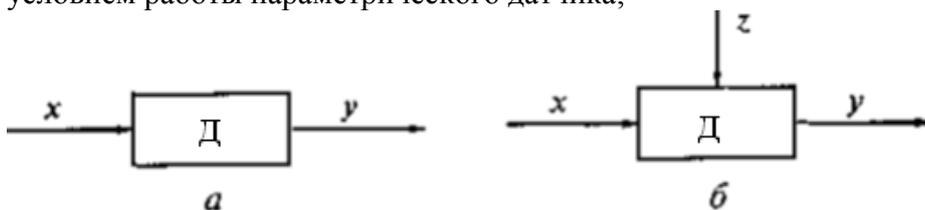


Рис. 1.3. Виды основной характеристики датчиков

Большинство датчиков преобразуют неэлектрическую контролируемую величину x в электрическую (например, температура преобразуется при помощи термопары в электродвижущую силу (ЭДС); механическое перемещение, связанное с изменением положения якоря электромагнита, изменяет индуктивность его обмотки и т.д.).

Основной характеристикой датчика является зависимость его выходной величины y от входной x , т.е. $y = f(x)$. На рис. 1.3 изображены некоторые распространенные виды зависимости выход-вход датчиков. Как видно из рисунка, функциональная связь может подчиняться любой закономерности, но желательно, чтобы характеристика датчика была **линейной**.

Различают **два** вида датчиков в зависимости от принципа производимого ими преобразования: **параметрические** (или **пассивные**), в которых изменение контролируемой величины x сопровождается соответствующими изменениями активного, индуктивного и емкостного сопротивлений датчика. Наличие постороннего источника энергии вида z (см. рис. б) является обязательным условием работы параметрического датчика;



Схемы датчиков в зависимости от принципа производимого ими преобразования:

а - генераторные (или активные), не требующие дополнительного источника энергии вида z ;

б - параметрические (пассивные), наличие постороннего источника энергии вида z обязательно

генераторные (или **активные**), в которых изменение контролируемой величины x сопровождается соответствующими изменениями ЭДС на выходе датчика (например, возникновение ЭДС может происходить вследствие термо-, пьезо-, фотоэффекта и других явлений, вызывающих появление электрических зарядов). Эти датчики выполняются по схеме, приведенной на рис. *а*, т.е. они не требуют дополнительного источника энергии вида z , так как энергия на выходе элемента полностью берется с его входа (вследствие чего мощность выходного сигнала всегда меньше мощности входного сигнала).

В зависимости от вида контролируемой неэлектрической величины различают датчики механические, тепловые, оптические и др.

Часто применяются электрические датчики с промежуточным преобразованием, т.е. механический датчик объединяют с электрическим.

Преобразование контролируемой величины в таких датчиках происходит по схеме: измеряемая величина – механическая величина (например, механическое перемещение) – электрическая величина.

Элемент, преобразующий измеряемую величину в механическую величину (например, перемещение), называется первичным преобразователем или первичным измерителем (ПИ) в электрических датчиках с промежуточным преобразованием.

Например, давление преобразуется в перемещение стрелки манометра ПИ, которое затем преобразуется в изменение активного сопротивления (проволочный, резистивный (или реостатный) датчики и др.).

Для большинства измерительных преобразователей (ИП) характерно измерение электрическими методами не только электрических и магнитных, но и других физических величин. При этом используется предварительное преобразование неэлектрической величины в электрическую.

Такой подход обусловлен **достоинствами электрических измерений**: электрические сигналы просто и быстро передаются на большие расстояния; легко, быстро и точно преобразуются в цифровой код; позволяют обеспечить высокую точность и чувствительность.

В ряде случаев ИП можно использовать в качестве преобразователя одной физической величины в другую, чаще всего из неэлектрической в электрическую. Например, при измерении уровня поплавков в емкости может быть рычажно связан с реостатным преобразователем, включенным в электрическую цепь. В этом случае изменение уровня, измеряемое перемещением поплавка, будет преобразовываться в изменение электрического сигнала (напряжения, тока).

Для эффективного функционирования ИП должны отвечать ряду требований:

- высокая статическая и динамическая точность работы, обеспечивающая формирование выходного сигнала с минимальными искажениями;
- высокая избирательность — датчик должен реагировать только на изменения той величины, для которой он предназначен;
- стабильность характеристик во времени;
- отсутствие влияния нагрузки в выходной цепи на режим входной цепи;
- высокая надежность при работе в неблагоприятных условиях внешней среды;
- повторяемость характеристик (взаимозаменяемость);
- простота и технологичность конструкции;
- удобство монтажа и обслуживания;
- минимальная стоимость.

Необходимую для управления информацию о состоянии объекта и внешних воздействиях получают в виде значений отдельных физических величин с помощью соответствующих технических устройств, которые в автоматике называют *измерительными преобразователями* (ИП). В отличие от измерительных приборов, где такая информация представлена в виде, удобном для непосредственного восприятия оператором, информация от ИП поступает в виде определенной физической величины, удобной для передачи и дальнейшего преобразования в системе автоматике. Эту величину называют *сигналом*, и она однозначно связана с контролируемой физической величиной или параметром того или иного технологического процесса.

В ГСП¹ все контролируемые величины разбиты на пять следующих групп: теплоэнергетические, электроэнергетические, механические величины, химический состав и физические свойства.

Теплоэнергетические величины: температура, давление, перепад давлений, уровень и расход.

Электроэнергетические величины: постоянные и переменные ток и напряжение, мощность (активная и реактивная), коэффициент мощности, частота и сопротивление изоляции.

¹ Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) создана с целью обеспечения техническими средствами систем контроля, регулирования и управления технологическими процессами в различных отраслях народного хозяйства.

Механические величины: линейные и угловые перемещения, угловая скорость, деформация усилия, вращающие моменты, число изделий, твердость материалов, вибрация, шум и масса.

Химический состав: концентрация, состав, химические свойства.

Физические свойства характеризуют следующие величины: влажность, электропроводность, плотность, вязкость, освещенность и др.

Устройства, в которых однократно (первично) преобразуется измеряемая физическая величина, принято называть *первичными ИП*.

ИП бывают с естественным и унифицированным выходными сигналами.

Естественный выходной сигнал формируется первичными ИП естественным путем и может представлять собой угол поворота, перемещение, усилие, напряжение (постоянное и переменное), сопротивление (активное и комплексное), электрическую емкость, частоту и др.

ИП с естественным выходным сигналом (термопары, терморезисторы, тензодатчики и др.) широко применяют при автоматизации простых объектов.

Унифицированный сигнал - это сигнал определенной физической природы, изменяющийся в определенных фиксированных пределах независимо от вида измеряемой величины, метода и диапазона ее измерения.

Преобразователи, служащие для изменения масштаба сигнала, называют *масштабными ИП*.

Для получения унифицированных аналоговых сигналов применяют ИП, называемые *нормирующими*.

Специфика контролируемой величины существенно влияет на метод преобразования, используемый в первичном ИП.

Типы преобразователей, применяемых в ГСП, подразделяются на шесть групп: механические, электромеханические, тепловые, электрохимические, оптические и электронно-ионизационные.

Преобразователи, предназначенные для передачи сигнала измерительной информации на расстояние, называют *передающими*.

2. Классификация измерительных преобразователей

В качестве классификационных признаков ИП можно принять многие характеристики преобразователей: вид функции преобразования, вид входной и выходной величин, принцип действия, конструктивное исполнение и т. д.

В зависимости от принципа производимого ими преобразования:

генераторные (или активные), не требующие дополнительного источника энергии;

параметрические (пассивные), наличие постороннего источника энергии обязательно.

В зависимости от вида контролируемой неэлектрической величины различают датчики механические, тепловые, оптические и др.

По виду используемой энергии ИП можно подразделить на электрические, механические, пневматические и гидравлические.

По соотношению между входной и выходной величинами различают следующие виды ИП:

неэлектрических величин в неэлектрические (рычаги, редукторы, мембраны, пружины и др.);

неэлектрических величин в электрические (потенциометры, термопары, емкостные и индуктивные ИП и др.);

электрических величин в электрические;

электрических величин в неэлектрические (измерительные механизмы электроизмерительных приборов).

В зависимости от вида выходного сигнала различают ИП аналоговые, дискретные, релейные, с естественным или унифицированным выходным сигналом.

По виду функции преобразования различают следующие ИП: масштабные – изменяющие в определенное число раз входную величину без изменения ее физической природы; функциональные – осуществляющие однозначное функциональное преобразование входной величины с изменением ее физической природы или без изменения; операционные – выполняющие над входной величиной математические операции высшего порядка (дифференцирование или интегрирование по временному параметру).

По виду структурной схемы различают преобразователи прямого однократного преобразования, последовательного прямого преобразования, дифференциальные, с обратной связью (компенсационная схема).

По характеру преобразования входной величины в выходную ИП подразделяются на параметрические, генераторные, частотные, фазовые.

По виду измеряемой физической величины различают ИП линейных и угловых перемещений, давления, температуры, концентрации вещества и т. д.

По физическим явлениям, положенным в основу принципа действия, в ГСП принята следующая классификация ИП: *механические* – с упругим чувствительным элементом, дроссельные, ротаметрические, объемные, поплавковые, скоростные; *электромеханические* – тензорезистивные, термоэлектрические, термомеханические, термокондуктометрические, манометрические; *электрохимические* – кондуктометрические, потенциометрические, полярографические; *оптические* – фотоколлометрические, рефрактометрические, оптико-акустические, нефелометрические; *электронные* и *ионизационные* – индукционные, хроматографические, радиоизотопные, магнитные.

По динамическим характеристикам ИП подразделяются в соответствии с видом передаточной функции.

В зависимости от вида статической характеристики ИП делятся на реверсивные (двухтактные), у которых знак выходного сигнала определяется знаком входного, и нереверсивные (однотактные), у которых знак выходного сигнала не зависит от знака входного.

Даже столь развернутая классификация по ряду признаков не является исчерпывающей, так как за каждым определением стоит группа преобразователей с разными техническими и конструктивными характеристиками.

Статическая характеристика измерительного преобразователя – это функциональная зависимость между входной x и выходной y величинами в установившемся режиме. Как и любую функцию, статическую характеристику можно представить аналитически (уравнением), в виде графика или таблично. Обычно в уравнение преобразования входят конструктивные параметры. Для реального преобразователя статическую характеристику можно получить экспериментально.

Для более наглядного восприятия очень широко используют *графическую* форму представления статической характеристики. Наиболее часто используемые статические характеристики датчиков представлены на рис. 3.1.

В общем случае статические характеристики ИП не отличаются от аналогичных характеристик обобщенных звеньев систем управления, так как сами входят в их число.

Статическая характеристика может быть линейной и нелинейной (см. рис. 3.1, *а, б*). При этом необходимо отличать нелинейность как требуемую функциональную зависимость (например, экспоненциальную, логарифмическую) от собственно нелинейности как погрешности линейности.

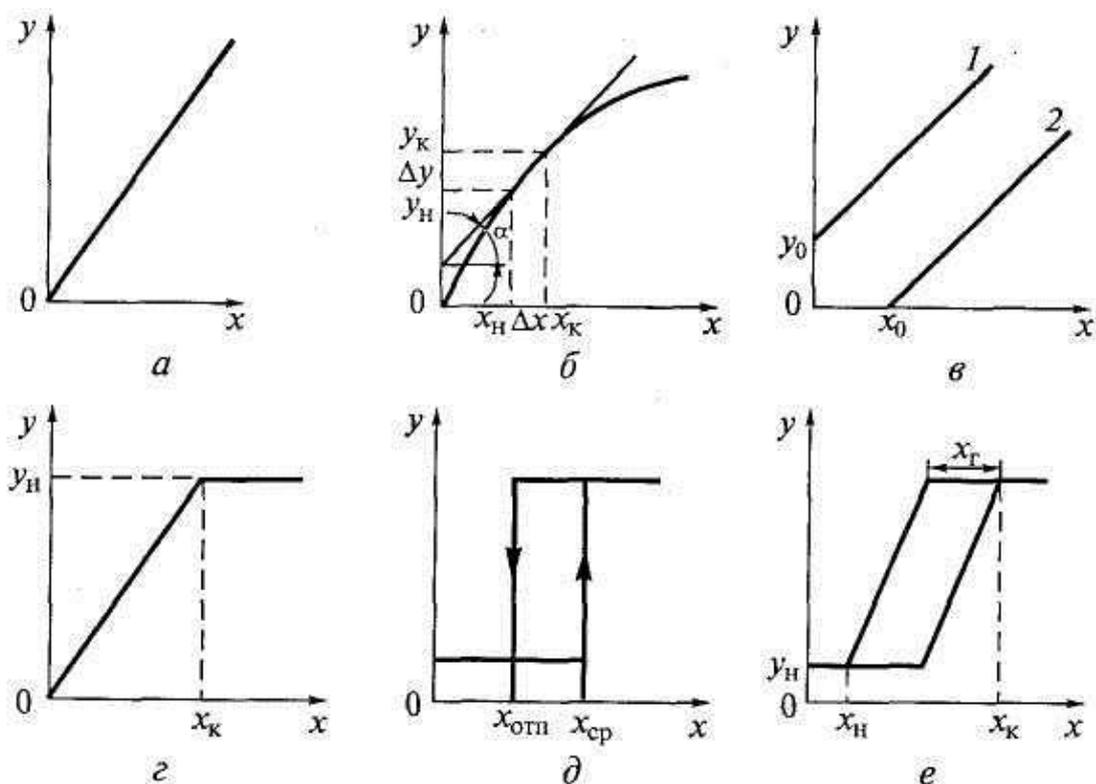


Рис. 3.1. Статистические характеристики датчиков:

a — линейная; *б* — нелинейная; *в* — с сигналом холостого хода и зоной нечувствительности; *г* — с участком насыщения; *д* — релейного характера; *е* — с петлей гистерезиса

В общем случае уравнение преобразования для линейной статической характеристики имеет вид

$$y = f(x) = \pm B + Kx,$$

где B — постоянная; K — коэффициент преобразования.

Если $B = 0$, то график уравнения проходит через начало координат и ИП не имеет ни выходного сигнала холостого хода y_0 , ни зоны нечувствительности $0 \dots x_0$ (см. рис. 3.1, *a*).

При $B > 0$ характеристика смещена относительно начала координат по оси абсцисс на величину выходного сигнала холостого хода $y_0 = B$ (см. рис. 3.1, *в*, прямая 1).

При $B < 0$ характеристика имеет зону нечувствительности $0 \dots x_0$, в пределах которой при изменении x в пределах $0 \dots x_0$ $y = 0$ (см. рис. 3.1, *в*, прямая 2).

Статическая характеристика может иметь участок насыщения (см. рис. 3.1, *г*), тогда она описывается двумя уравнениями: на участке $0 \dots x_k$ к уравнением $y = Kx$; на участке $x > x_k$ уравнением $y = y_n$.

При $K = \infty$ характеристика принимает релейный характер (см. рис. 3.1, *д*). Такая характеристика, присущая датчикам позиционного регулирования, характеризуется коэффициентом возврата:

$$K_B = x_{отп} / x_{ср},$$

где $x_{отп}$, $x_{ср}$ — значения входного сигнала, обеспечивающие соответственно отпускание и срабатывание датчика (реле).

Ряд датчиков имеет неоднозначность хода статической характеристики при увеличении и уменьшении входной величины x (см. рис. 3.1, *е*). Это явление носит название гистерезиса и характеризуется соответствующим коэффициентом:

$$K_H = x_H / (x_K - x_H),$$

где x_H — ширина зоны неоднозначности; x_K , x_H — значения соответственно конца и начала рабочего диапазона входной величины.

На рис. 3.1 представлены характеристики одноктактных (неревверсивных) датчиков. Характеристики двухтактных датчиков имеют вторую аналогичную ветвь, расположенную в третьем квадранте симметрично началу координат.

Нелинейную характеристику можно преобразовать в линейную (линеаризовать) или функциональную с помощью аппроксимации.

Для нелинейных характеристик коэффициент преобразования не является постоянной величиной, поэтому в этом случае используют дифференциальный коэффициент преобразования K_d , под которым понимают предел отношения выходной и входной величин:

$$K_d = \frac{dy}{dx} = \left. \frac{\Delta y}{\Delta x} \right|_{\Delta x \rightarrow 0}.$$

Дифференциальный коэффициент преобразования в общем случае меняется от точки к точке и определяется углом α наклона касательной к характеристике в рабочей точке; $K_d = \operatorname{tg} \alpha$. Коэффициент преобразования характеризует *чувствительность датчика* K_s и в зависимости от наименования входной и выходной величин может быть представлен в размерном или безразмерном виде.

Если на характеристике выделить линейный участок, в пределах которого работает преобразователь, то разность между верхним и нижним значениями входного (выходного) сигнала определяет рабочий диапазон Δ_r его изменения, а их отношение – динамический диапазон Δ_d (см. рис. 3.1, б):

$$\Delta_r x = x_k - x_n; \quad \Delta_d x = x_k / x_n; \quad \Delta_r y = y_k - y_n; \quad \Delta_d y = y_k / y_n.$$

Порог чувствительности – это минимальное значение входного сигнала x , вызывающего появление заметного выходного сигнала y .

Погрешности датчиков делятся на основные и дополнительные.

Основная погрешность датчика – максимальная разность между измеренным значением выходного сигнала y_p и его истинным значением y_n , определяемым по идеальной статической характеристике для данной входной величины при нормальных эксплуатационных условиях. Она может выражаться как в абсолютных единицах: $\Delta = y_p - y_n$, так и в относительных.

В последнем случае она равна отношению абсолютной погрешности к истинному значению выходного сигнала:

$$\delta = (y_p - y_n) / y_n = \Delta / y_n.$$

Можно использовать относительную приведенную погрешность γ , равную отношению максимальной абсолютной погрешности Δ в диапазоне измеряемой величины к верхнему значению этого диапазона y_k в процентах:

$$\gamma = (\Delta_{\max} / y_k) 100.$$

Дополнительные погрешности – это погрешности, вызываемые условиями внешней среды и внутренними процессами в деталях преобразователя. К этим процессам можно отнести: изменения температуры, влажности; колебания напряжения источника питания, механические воздействия; старение и износ материала. Дополнительная погрешность выражается обычно в процентах изменения выходной величины на определенную величину возмущающего параметра.

В зависимости от специфики применения датчиков погрешности нормируются абсолютным значением, относительным или *классом точности*, определяющимся обобщенной характеристикой основной приведенной и дополнительных погрешностей.

Статические характеристики позволяют оценить работу преобразователей в установившемся режиме. Однако в реальных условиях датчикам иногда приходится работать в условиях быстроменяющихся процессов, т. е. в динамическом режиме, когда на вход поступают сигналы, изменяющиеся во времени. В этих случаях начинают проявляться явления отставания выходного сигнала от входного изменения его частоты, фазы, амплитуды.

По динамическим характеристикам большинство датчиков относится к усилительным, апериодическим и колебательным звеньям первого и более высоких порядков. Наиболее используемые характеристики датчиков: частотная характеристика и передаточная функция, а параметры – постоянная времени, время запаздывания и коэффициент усиления.

Вопросы и задания.

Тема 2.1. Классификация и основные характеристики первичных преобразователей

Общие сведения о преобразователях. Классификация измерительных преобразователей

1. Дайте определение измерительному преобразователю (ИП).
 2. Поясните, что является основной характеристикой датчика. Каков предпочтительный вид этой характеристики?
 3. Поясните, почему для большинства измерительных преобразователей (ИП) характерно измерение электрическими методами не только электрических, но и других физических величин. Какие предварительные преобразования используются при этом?
 4. Перечислите достоинства электрических измерений.
 5. Перечислите требования, предъявляемые к ИП.
 6. Перечислите теплоэнергетические величины.
 7. Перечислите электроэнергетические величины.
 8. Перечислите механические величины.
 9. Перечислите величины, определяющие химический состав.
 10. Перечислите величины, определяющие физические свойства.
 11. Поясните, что представляет собой естественный выходной сигнал.
 12. Поясните, что представляет собой унифицированный сигнал. Какие измерительные преобразователи (ИП) используют для получения унифицированных аналоговых сигналов?
 13. Дайте определение статической характеристики измерительного преобразователя.
 14. Поясните, как определяется дифференциальный коэффициент преобразования.
 15. Поясните, какой коэффициент характеризует чувствительность датчика.
 16. Поясните, что такое порог чувствительности датчика.
- Погрешности датчиков делятся на основные и дополнительные.
17. Поясните, что собой представляет основная погрешность датчика. Как она может выражаться.
 18. Поясните, чем обусловлены дополнительные погрешности датчиков. Перечислите процессы, которые вызывают дополнительные погрешности датчиков.
 19. Перечислите динамические характеристики ИП.

Задания:

1. Перечислите и изобразите статические характеристики ИП
2. Изобразите классификационную схему измерительных преобразователей с использованием объектов SmartArt.