

Сенсорика. Часть 1.

Лекция Характеристики датчиков

Карнаушенко В.П. Бородин А.В.

Факультет электронной техники, кафедра МЭПУ, ХНУРЕ

***Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
Кафедра МЭПУ, тел. 702-13-62, e-mail:<vprk @ ktur.kharkov.ua>***



Характеристики датчиков

Цель лекции: сформировать у слушателей более точное представление о том, что собой представляют сенсоры, в частности, интеллектуальные сенсоры, сенсорно-компьютерные системы, из каких главных функциональных узлов они состоят, какую роль играют в нашей жизни.

Ознакомить с историей совершенствования сенсоров, с их многообразием, с возможными подходами к их классификации, с порядком их рассмотрения в данном цикле лекций.



Характеристики датчиков

План:

- 1 Передаточная функция
- 2 Диапазон измеряемых значений (Максимальный входной сигнал)
- 3 Диапазон выходных значений
- 4 Точность
- 5 Калибровка
- 6 Ошибка калибровки
- 7 Гистерезис
- 8 Нелинейность
- 9 Насыщение
- 10 Воспроизводимость
- 11 Мертвая зона
- 12 Разрешающая способность



Характеристики датчиков

• Может потребоваться несколько этапов преобразований, прежде чем входной сигнал, поступающий на датчик, превратится в выходной электрический сигнал. Для примера рассмотрим оптоволоконный датчик давления. Внешнее давление, действующее на датчик, вызывает деформацию волоконного световода, что в свою очередь приводит к изменению его показателя преломления, из-за чего меняются характеристики оптической линии передач и происходит модуляция плотности фотонов.



Характеристики датчиков

- ◆ Может потребоваться несколько этапов преобразований, прежде чем входной сигнал, поступающий на датчик, превратится в выходной электрический сигнал. Для примера рассмотрим оптоволоконный датчик давления. Внешнее давление, действующее на датчик, вызывает деформацию волоконного световода, что в свою очередь приводит к изменению его показателя преломления, из-за чего меняются характеристики оптической линии передач и происходит модуляция плотности фотонов.



Характеристики датчиков

- ◆ Результирующий поток фотонов детектируется и преобразуется в электрический ток. В этой главе будут рассматриваться общие характеристики датчиков, вне зависимости от их физической природы и количества необходимых промежуточных этапов преобразований. При этом датчики будут представлены в виде «черных ящиков», где важными будут только соотношения между сигналами на их входах и выходах.



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 либо таблицы, либо графика, либо математического выражения.



Передаточная функция

- ◆ Это идеальное (теоретическое) выражение часто называют передаточной функцией. Передаточная функция устанавливает взаимосвязь между выходным электрическим сигналом датчика S и внешним воздействием s : $S = f(s)$. Эта функция может быть как линейной, так и нелинейной (например, логарифмической, экспоненциальной или степенной). Во многих случаях передаточная функция является одномерной (т.е. связывает выходной сигнал только с одним внешним воздействием).



Передаточная функция

- ◆ Одномерную линейную функцию можно представить в виде выражения:

$$(2.1) \quad S = a + bs$$

где a — постоянная составляющая (т.е. значение выходного сигнала при нулевом входном воздействии),

b — наклон прямой, который часто называют чувствительностью датчика.

- ◆ *Параметр S* — эта та характеристика электрического сигнала, которую системы сбора данных воспринимают в качестве выходного сигнала датчика.



Передаточная функция

В зависимости от свойств датчика это может быть амплитуда, частота или фаза. Логарифмическая передаточная функция имеет вид:

$$S = a + b \ln s \quad , (2.2)$$

◆ экспоненциальная — $S = a e^{ks}$ (2.2)

◆ степенная — $S = a_u + a_x s^k$ (2.4)

где k — постоянное число.



Передаточная функция

- ◆ Однако датчик может иметь передаточную функцию, которую невозможно описать вышеприведенными аппроксимационными выражениями. В таких случаях применяются полиномиальные аппроксимации более высоких порядков. Для нелинейных передаточных функций чувствительность b не является константой, как это было в случае линейных зависимостей. Для каждого конкретного значения входного сигнала s_0 ее можно определить в виде:

$$b = \frac{ds(s_0)}{ds} \quad (2.5)$$

- ◆ Во многих случаях нелинейные датчики могут считаться линейными внутри ограниченного диапазона значений. Для более широкого диапазона значений нелинейная передаточная функция представляется в виде отрезков нескольких прямых линий.



Передаточная функция

- ◆ Это называется кусочно-линейной аппроксимацией. Для того, чтобы определить, может ли данная передаточная функция быть представлена в виде линейной зависимости, наблюдают за изменением выходных сигналов в линейной и реальной моделях при постепенном увеличении входного сигнала. Если разность сигналов не выходит за допустимые пределы, передаточную функцию данного датчика можно считать линейной.
- ◆ В случаях, когда на выходной сигнал датчика оказывают влияние несколько внешних воздействий, его передаточная функция становится многомерной. Примером датчика с двумерной передаточной функцией является инфракрасный датчик температуры.



Передаточная функция

- ◆ Его передаточная функция связывает две температуры (T_b — абсолютную температуру объекта измерения и T_s — абсолютную температуру поверхности сенсорного элемента) с выходным напряжением V

$$V = G(T_b^4 - T_s^4)$$

где G —константа.

- ◆ Из выражения видно, что зависимость между температурой объекта и выходным напряжением (передаточная функция) является не только нелинейной (параболой четвертого порядка), но она также зависит от температуры поверхности чувствительного элемента.



Передаточная функция

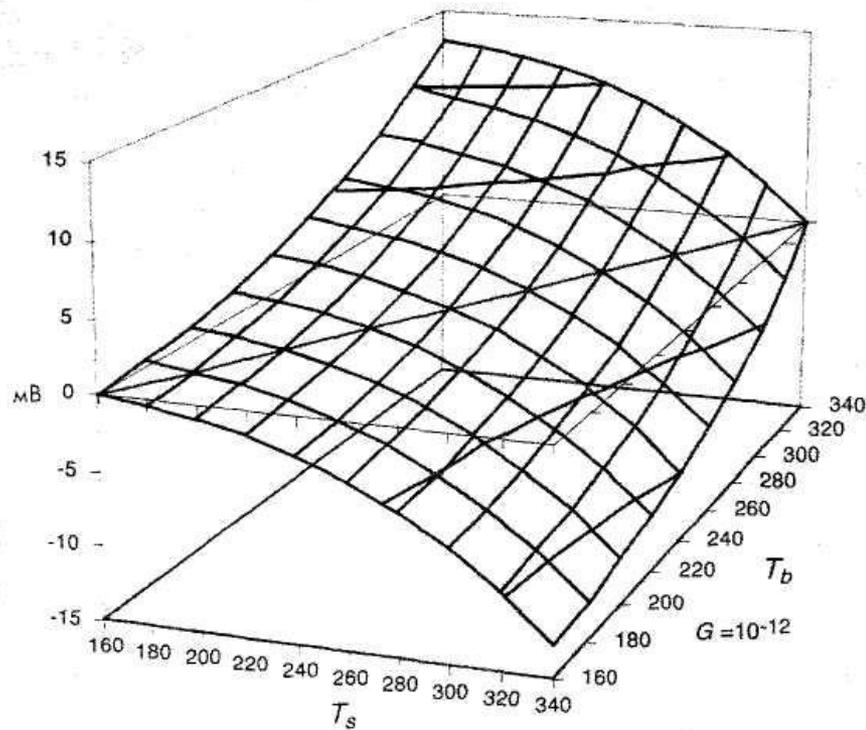
- ◆ Для определения чувствительности такого датчика по отношению к температуре объекта, надо взять частную производную от выражения (2.6):

$$b = \frac{\partial V}{\partial T_b} = 4GT_b^3 \quad (2.7)$$

- ◆ На рис. 2.1 передаточная функция (2.6) показана графически. Из рисунка видно, что каждое значение выходного напряжения однозначно определяется по двум входным температурам. Следует отметить, что, как правило, передаточные функции представляются в виде зависимости «ВЫХОД ОТ ВХОДА».



Передаточная функция



- ◆ При линейной передаточной функции получить обратную зависимость несложно. Но в случае присутствия в системе нелинейностей эта задача сильно усложняется, и во многих случаях аналитического выражения, пригодного для вычислений, получить не удастся. Тогда снова привлекаются аппроксимационные методы.

Рис. 2.1. Двумерная передаточная функция инфракрасного датчика температуры

Передаточная функция

- ◆ *Сигналы отображенные в логарифмическом виде, имеют гораздо меньшие значения, чем исходные, что на практике в ряде случаев бывает очень удобно. Поскольку логарифмическая шкала является нелинейной, сигналы низкого уровня в ней представляются с большим разрешением, тогда как сигналы высокого уровня претерпевают большее сжатие. Другими словами, логарифмическая шкала для малых сигналов работает как микроскоп, а в случае больших сигналов — как телескоп. По определению децибел равен десяти логарифмам отношения мощности двух сигналов (см. таблицу 2.1), т.е.:*

$$1\text{дБ} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (2.8)$$



Передаточная функция

- ◆ Исходя из этого можно утверждать, что децибел в двадцать раз превышает логарифмы отношений силы, тока и напряжений, т.е.:

$$1\text{дБ} = 20 \log \frac{S_2}{S_1} \quad (2.9)$$

- ◆ Таблица 2.1 Отношения между мощностью, силой (напряжением током) и децибелами

Отношение мощности	1,023	1,26	10	100	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}
Отношение сил	1,012	1,12	3,16	10	31,6	100	316	10^3	3162	10^4	$3 \cdot 10^4$	10^5
Децибелы	0	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100



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. На рис. 2.2 А величина SFS отображает диапазон выходных значений.



Диапазон выходных значений

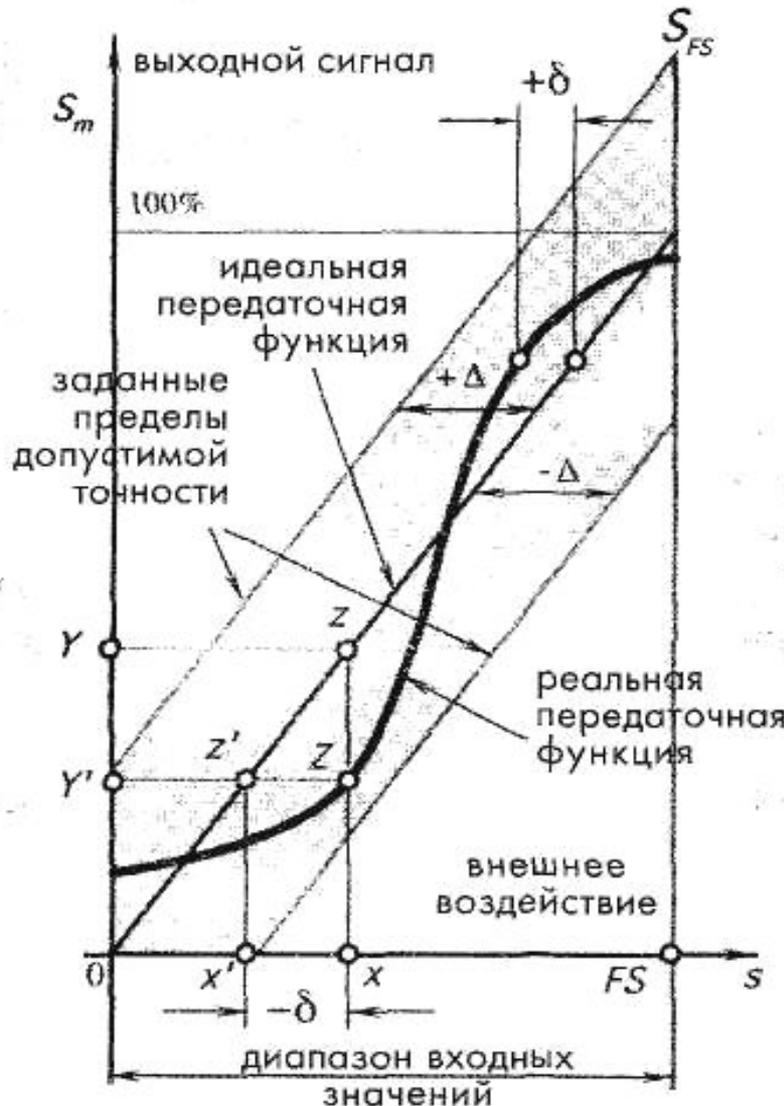


Рис. 2.2.a Передаточная функция. Погрешности определены относительно входных значений.

Диапазон выходных значений

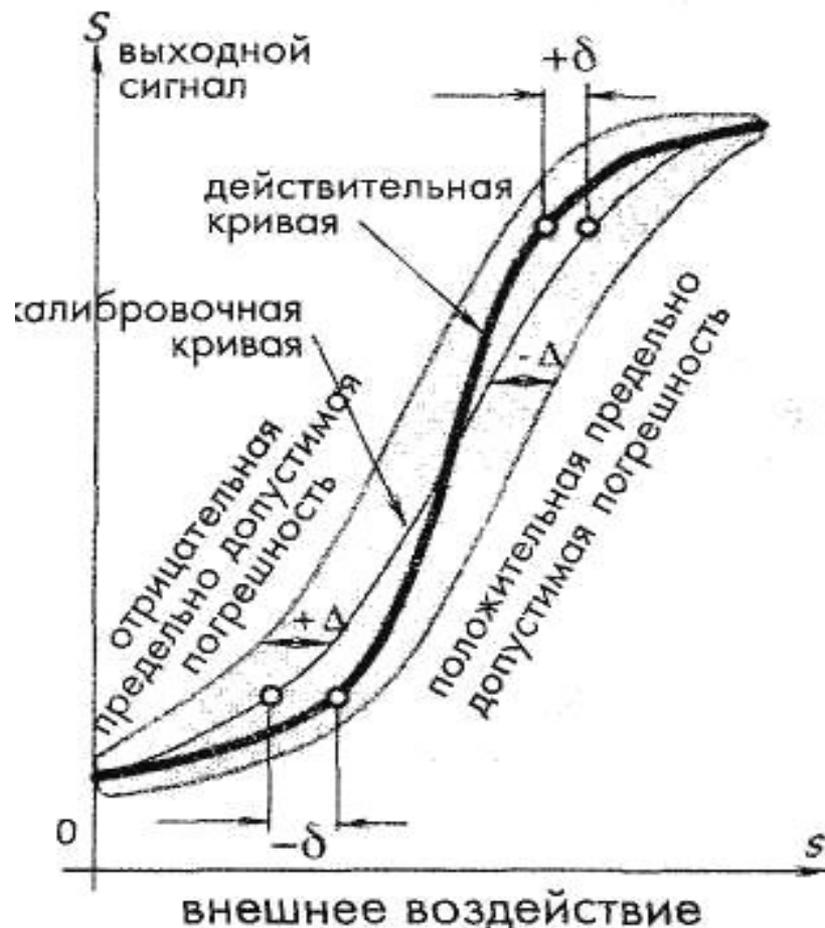


Рис. 2.2.6 Пределы допустимой погрешности.

Погрешности определены относительно входных значений.



Точность

- ◆ *Точность* — очень важная характеристика любого датчика. Правда, когда говорят о точности датчика, чаще всего подразумевают его неточность или 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 (см. раздел 2.20).
- ◆ *Погрешность* датчика можно также представить в виде разности между значением, вычисленным по выходному сигналу датчика, и реальным значением поданного входного сигнала. Например, рассмотрим линейный датчик перемещений.



Точность

- ♦ В идеальном случае, если его чувствительность b равна 1 мВ/мм, при смещении объекта на 1 мм напряжение на выходе должно измениться на 1 мВ.
- ♦ Однако на практике при перемещении объекта на расстояние $s = 10$ мм выходное напряжение изменилось на 10.5 мВ, т.е. $S = 10.5$ мВ. Преобразовав это значение при помощи инверсной передаточной функции, получим, что при таком напряжении перемещение объекта должно быть равным $s_x = S/b = 10.5$ мм, т.е. на 0.5 мм больше действительного. Вот эти 0.5 мм и являются погрешностью измерений. Следовательно, можно утверждать, что в пределах 10-мм диапазона абсолютная погрешность измерений данного датчика составляет 0.5 мм, а в относительных единицах она равна: $(0.5 \text{ мм}/10 \text{ мм}) \times 100\% = 5\%$.



Точность

- ◆ Если при отсутствии случайных ошибок каждый раз при повторении этого эксперимента будет наблюдаться погрешность, равная 0.5 мм, говорят, что датчик в диапазоне 10 мм имеет *систематическую погрешность*, равную 0.5 мм.
- ◆ Но, как правило, случайные ошибки всегда присутствуют, поэтому на практике систематическая погрешность чаще всего представляется в виде среднего значения из множества экспериментальных значений.



Точность

- ◆ На рис. 2.2.*a* показана идеальная или теоретическая передаточная функция. В реальной жизни любой датчик обладает теми или иными недостатками. Толстой линией на рисунке выделена одна из реальных передаточных функций, которые не обязательно являются линейными и монотонными. Реальная функция почти никогда не совпадает с идеальной.



Точность

- ◆ Даже когда датчики изготавливаются в идентичных условиях, из-за разницы в материалах, в мастерстве работников, ошибок разработчиков, производственных допусков и т.п., их передаточные функции всегда будут различаться друг от друга. Однако все они не должны выходить за пределы определенной зоны, лежащей в границах предельно допустимых погрешностей, которые находятся от линии идеальной передаточной функции на расстоянии $\pm\Delta$. Следовательно, *разница между реальной и идеальной передаточной функцией δ* всегда должна быть меньше или равна Δ . Для примера рассмотрим ситуацию, когда входной сигнал датчика равен x (рис. 2.2А). В идеальном случае при этом выходной сигнал должен быть равен Y , что соответствует точке z на передаточной функции.



Точность

- ◆ Вместо этого по реальной функции при значении x мы попадем в точку Z , и, следовательно, получим выходной сигнал, равный Y' , соответствующий точке z' на идеальной передаточной функции, которой, в свою очередь, должен соответствовать входной сигнал x' . Поскольку $x' < x$, погрешность измерений в данном случае будет равна $-\delta$.
- ◆ На точность датчиков влияют такие характеристики как: гистерезис, мертвая зона, параметры калибровки, повторяемость датчиков от партии к партии и воспроизводимость погрешностей, которые будут рассмотрены в следующих разделах. Предельно допустимые погрешности обычно соответствуют самым худшим рабочим характеристикам датчиков.



Точность

- ◆ Из рис. 2.2 Б видно, что при более корректном проведении калибровки (например, при проведении калибровки на большем количестве точек), калибровочная кривая проходит ближе к реальным передаточным функциям, что означает повышение точности измерений. На практике пределы допустимых погрешностей устанавливаются не вокруг идеальной передаточной функции, а относительно калибровочной кривой. Допустимые пределы становятся меньше, если они не включают в себя погрешности, связанные с различиями датчиков от партии к партии, а также когда они относятся только к одному специально откалиброванному датчику.



Точность

- ◆ Все это повышает точность измерений, однако значительно повышает стоимость, из-за чего во многих ситуациях эти методы не могут быть применены.
- ◆ *Погрешность датчиков* может быть представлена в следующих видах:
 - 1. Непосредственно в единицах измеряемой величины (А),
 - 2. В процентах от значения максимального входного сигнала
 - 3. В единицах выходного сигнала.



Точность

- ◆ Например, погрешность пьезорезистивного датчика давления с диапазоном входных сигналов 100 кПа и диапазоном выходных сигналов 10 Ом можно определить следующим образом: $\pm 0.5\%$, +500 Па или ± 0.05 Ом.
- ◆ В современных датчиках точность часто характеризуется величиной *статистической ошибки измерений* (см. раздел 2.20), учитывающей влияние как систематических, так и случайных погрешностей, и не зависящих от ошибок, допущенных при определении передаточных функций.



Калибровка

- ◆ Если производственные допуски на датчик и допуски на интерфейс (схемы преобразования сигналов) превышают требуемую точность системы, всегда необходимо проводить калибровку. Например, требуется измерить температуру с точностью $\pm 0.5^\circ\text{C}$ датчиком, по справочным данным обладающим погрешностью $\pm 1\%$. Это можно сделать только после проведения калибровки конкретного датчика, что необходимо для нахождения его индивидуальной передаточной функции, а также после проведения полной калибровки системы. В процессе проведения полной калибровки определяются коэффициенты, описывающие передаточную функцию всей системы в целом, включая датчик, интерфейсное устройство и АЦП.



Калибровка

Математическое описание передаточной функции необходимо знать до начала проведения калибровки.

$$v = a + bt \quad (2.10)$$

- ◆ Для определения констант a и b датчик необходимо поместить в две среды: одну с температурой t_1 , другую с температурой t_2 , и измерить значения двух соответствующих напряжений: v_1 и v_2 .



Калибровка

После чего надо подставить эти величины в выражение (2.10):

$$a_1 = bt + v_1, \quad a_2 = bt + v_2 \quad (2.11)$$

и найти значения констант:

$$b = \frac{v_1 - v_2}{t_1 - t_2} \quad a = v_1 - bt_1 \quad (2.12)$$

- ◆ Для получения температуры из выходного напряжения, значение измеренного напряжения необходимо подставить в инверсное выражение передаточной функции:



Калибровка

$$t = \frac{v - a}{b} \quad (2.13)$$

◆ В некоторых случаях одна из констант может быть заранее определена с достаточной степенью точности, тогда нет необходимости проведения калибровки в двух точках. Для того же самого датчика температуры с *p-n* переходом наклон передаточной функции *b* для определенного типа полупроводников обычно является хорошо воспроизводимой величиной. Тогда, если известно значение *b* для выбранного типа диода, например, $b = -0.002268 \text{ В}/^\circ\text{С}$, достаточно провести калибровку только в одной точке для нахождения коэффициента *a*: $a = v_1 + 0.002268 t_1$.



Калибровка

- ◆ Для нелинейных функций калибровку требуется проводить более чем в двух точках. Количество необходимых калибровок диктуется видом математического выражения. Если передаточная функция моделируется полиномиальной зависимостью, число калибровочных точек выбирается в зависимости от требуемой точности. Поскольку, как правило, процесс калибровки занимает довольно много времени, для снижения стоимости изготовления датчиков на производстве количество калибровочных точек задается минимальным.



Калибровка

- ◆ Применение кусочно-линейной аппроксимации является другим подходом к калибровке нелинейных датчиков. Как упоминалось выше, любую кривую в пределах достаточно небольшого интервала можно заменить линейной функцией, описываемой уравнением (2.1).
- ◆ Поэтому нелинейную передаточную функцию можно представить в виде комбинации линейных отрезков, каждый из которых обладает своими собственными коэффициентами a и b . Во время измерений сначала необходимо определить на каком отрезке аппроксимационной функции находится полученное напряжение S , после чего выбрать соответствующие коэффициенты a и b и вычислить значение внешнего воздействия по уравнению, аналогичному (2.13).

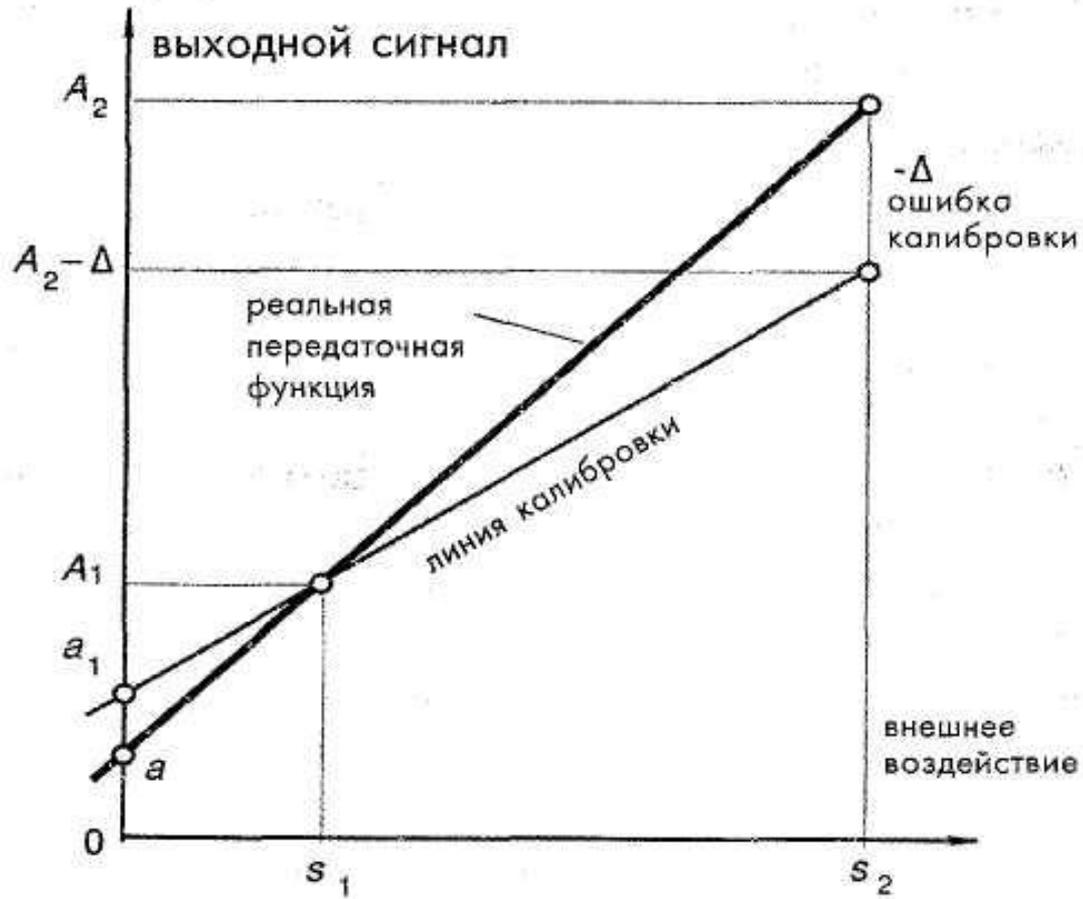


Калибровка

- ◆ Для проведения калибровки датчиков важно иметь точные физические эталоны, позволяющие моделировать соответствующие внешние воздействия. Например, при калибровке контактного датчика температуры его необходимо помещать либо в резервуар с водой, либо в «сухой колодец», в которых есть возможность точно регулировать температуру.
- ◆ Ошибка калибровки сдвигает характеристику преобразования датчика в каждой точке на определенную величину.



ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ



Калибровка

- ◆ Она необязательно должна быть равномерной во всем диапазоне измерений и может зависеть от типа ошибки, допущенной в процессе калибровки. Для примера рассмотрим калибровку в двух точках реальной передаточной функции, показанной толстой линией на рис. 2.3. Для определения наклона и начального сдвига функции на датчик подадим последовательно два внешних воздействия S_1 и S_2 зарегистрируем два соответствующих выходных сигнала, и A_2 .



Калибровка

- ◆ Первый сигнал был измерен абсолютно точно, однако, при определении второго сигнала была допущена погрешность — A , что привело к ошибкам при определении коэффициентов a и b . Полученное значение начального сдвига a_1 будет отличаться от реального значения a на величину:

$$\delta_a = a_1 - a = \frac{\Delta}{s_2 - s_1} \quad (2.14)$$

- ◆ а наклон будет определен с ошибкой

$$\delta_b = \frac{\Delta}{s_2 - s_1} \quad (2.15)$$



Гистерезис

- ◆ *Гистерезис* — это разность значений выходного сигнала для одного и того же входного сигнала, полученных при его возрастании и убывании (рис. 2.4). Например, пусть показания датчика перемещений при движении объекта слева направо отличаются на 20 мВ от его показаний при движении объекта в той же самой точке справа налево. Если чувствительность датчика составляет 10 мВ/мм, ошибка гистерезиса в единицах перемещения будет равна 2 мм. Типичной причиной возникновения гистерезиса является трение и структурные изменения материалов.



Гистерезис

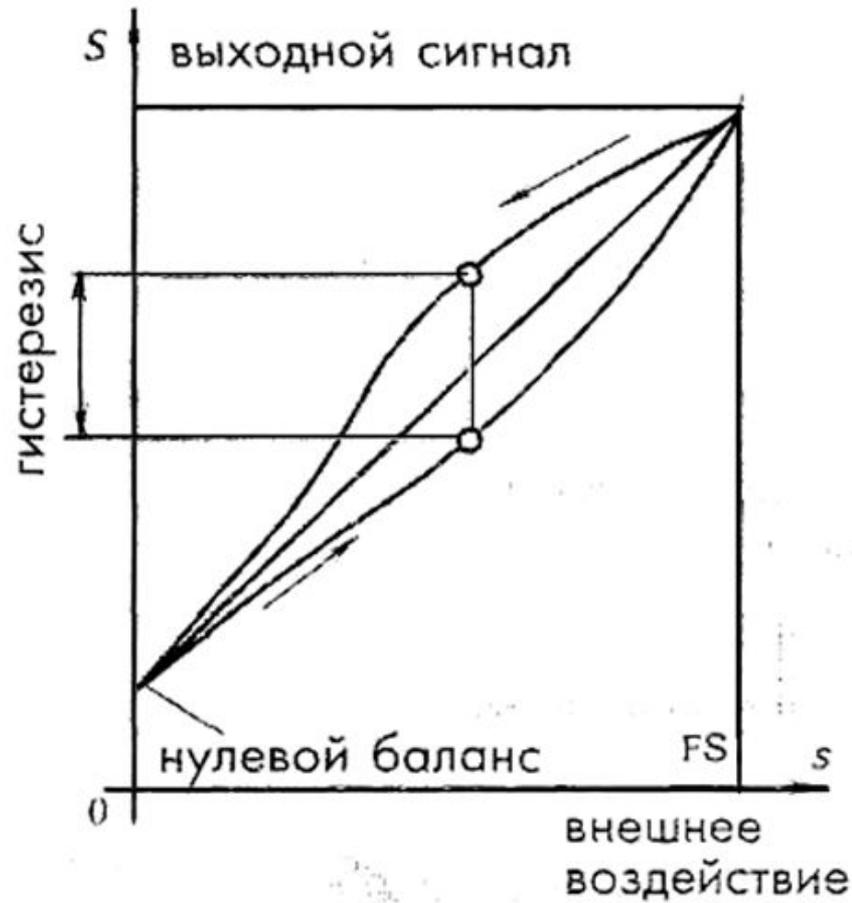


Рис. 2.4 Передаточная функция с гистерезисом

Нелинейность

- ◆ Нелинейность определяется для датчиков, передаточную функцию которых возможно аппроксимировать прямой линией (уравнение (2.1)). Под нелинейностью понимается максимальное отклонение L реальной передаточной функции от аппроксимирующей прямой линии. Под термином «линейность» на самом деле понимается «нелинейность».
- ◆ При проведении нескольких циклов калибровки выбирается худшее из полученных значений нелинейности. Нелинейность обычно выражается либо в процентах от максимального входного сигнала, либо в единицах измеряемых величин (например, в кПа или °C). В зависимости от способа проведения аппроксимирующей линии различают несколько типов линеаризации.



Нелинейность

- ◆ В зависимости от способа проведения аппроксимирующей линии различают несколько типов линеаризации. Один из способов — проведение прямой через конечные точки передаточной функции (рис. 2.5А). Для этого сначала определяются выходные значения, соответствующие наибольшему и наименьшему внешним воздействиям, а потом через эти точки проводится прямая линия (линия 1). При такой линеаризации ошибка нелинейности минимальна в конечных точках и максимальна где-то в промежутке между ними.



Нелинейность

- ◆ Другой способ линеаризации основан на применении метода наименьших квадратов (линия 2 на рис. 2.5 А). Для этого в широком диапазоне измеряемых величин (лучше в полном диапазоне) для ряда значений (n) внешних воздействий s измеряются выходные сигналы S . После чего, применяя формулу линейной регрессии, определяют значения коэффициентов a и b :

$$a = \frac{\sum S \sum s^2 - \sum s \sum sS}{n \sum s^2 - (\sum s)^2}$$

$$b = \frac{n \sum sS - \sum s \sum S}{n \sum s^2 - (\sum s)^2}$$

где \sum — это сумма n чисел.



Нелинейность

- ◆ На практике, в некоторых случаях, может потребоваться большая точность линеаризации в узком диапазоне входных сигналов. Например, медицинские термометры должны обладать повышенной точностью в диапазоне $37^{\circ}\text{C} \dots 38^{\circ}\text{C}$. Вне этой зоны точность может быть несколько ниже. В этом случае калибровку проводят в узкой области, где требуется повышенная точность, после чего через калибровочную точку с проводится аппроксимирующая линия (линия 3 на рис. 2.5А).



Нелинейность

- ◆ В результате такой процедуры наименьшее значение нелинейности достигается в зоне калибровочной точки, а ближе к концам диапазона измерения линейность значительно ухудшается. Как видно из рисунка, в данном методе аппроксимирующая линия часто является касательной к передаточной функции в точке калибровки s . Если известно выражение для реальной передаточной функции, наклон этой линии может быть найден по уравнению (2.5).



Нелинейность

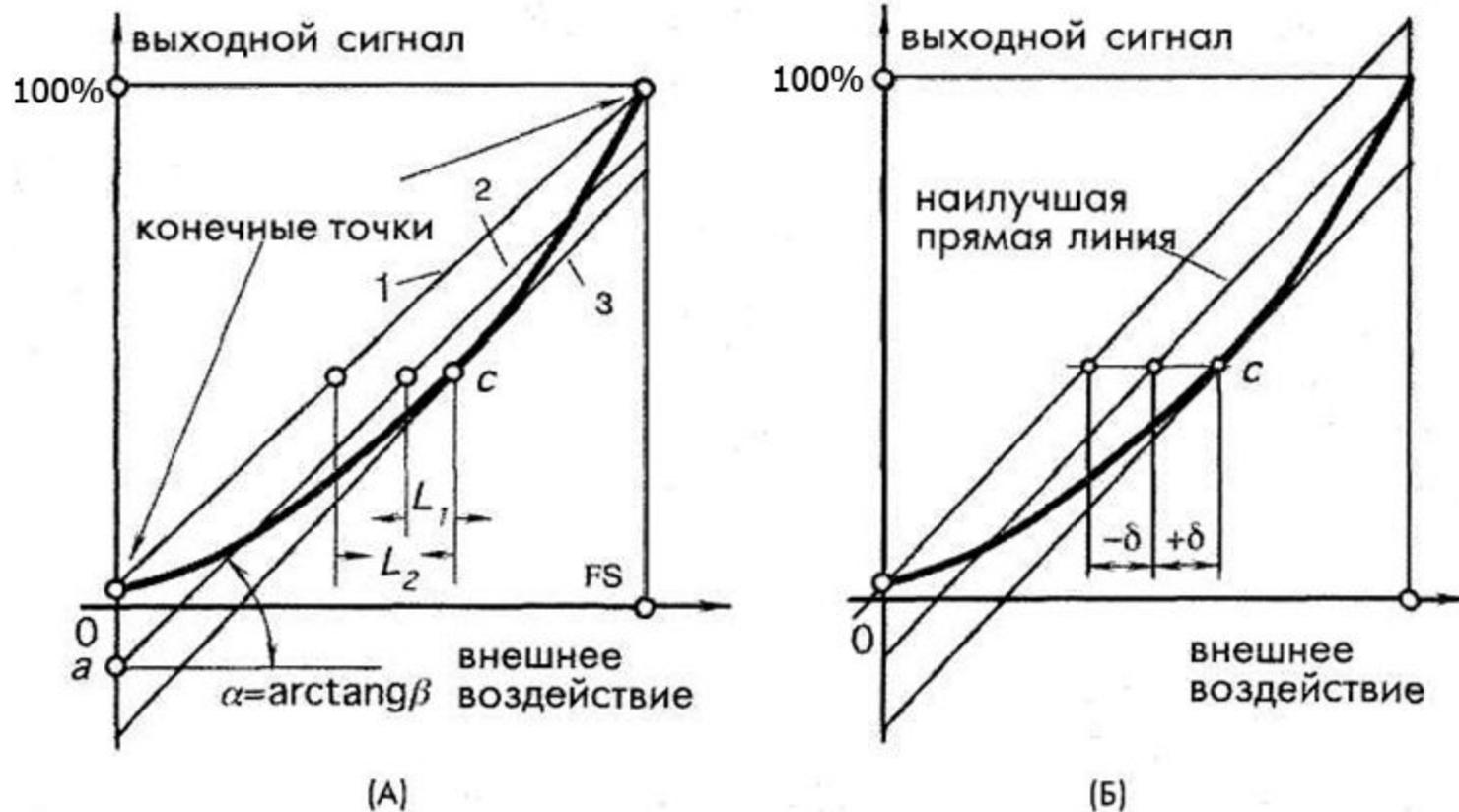


Рис. 2.5 Линейная аппроксимация нелинейной передаточной функции (А) и независимая линеаризация (Б)

Нелинейность

- ◆ Метод независимой линеаризации часто называется «методом наилучшей прямой» (рис. 2.5 Б). Он заключается в нахождении линии, проходящей посередине между двумя параллельными прямыми, расположенными, как можно, ближе друг к другу и охватывающими все выходные значения реальной передаточной функции.
- ◆ В зависимости от метода линеаризации аппроксимирующие линии будут иметь разные коэффициенты a и b . Следовательно, значения нелинейности, полученные разными способами, могут серьезно различаться друг от друга.



Насыщение

- ◆ Каждый датчик имеет свои пределы рабочих характеристик. Даже если он считается линейным, при определенном уровне внешнего воздействия его выходной сигнал перестанет отвечать приведенной линейной зависимости. В этом случае говорят, что датчик вошел в зону нелинейности или в зону насыщения (рис. 2.6)



Насыщение

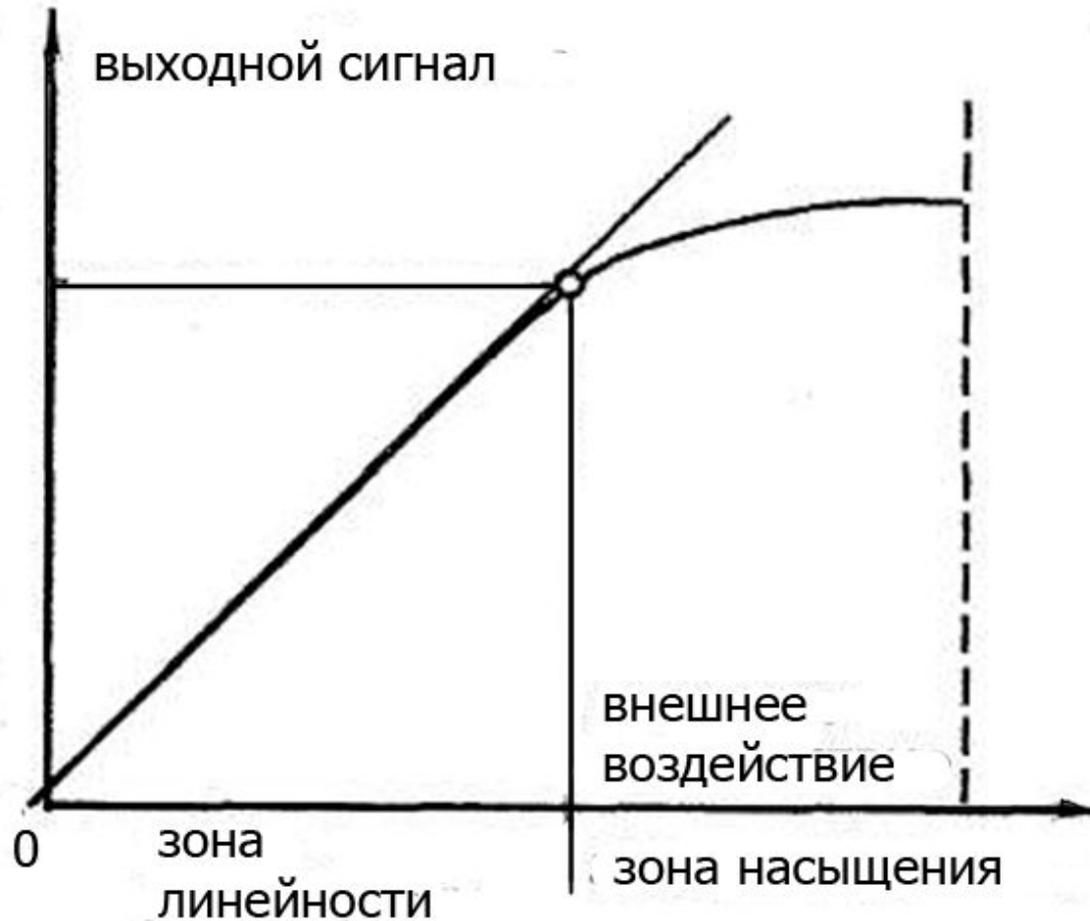


Рис. 2.6 Передаточная функция с насыщением



Воспроизводимость

- ◆ *Воспроизводимость* - это способность датчика при соблюдении одинаковых условий выдавать идентичные результаты. Воспроизводимость результатов определяется по максимальной разности выходных значений датчика, полученных в двух циклах калибровки (рис. 2.7А). Обычно она выражается в процентах от максимального значения входного сигнала (FS):

$$\delta_r = \frac{\Delta}{FS} \times 100\% \quad (2.17)$$

- ◆ Причинами плохой воспроизводимости результатов часто являются: тепловой шум, поверхностные заряды, пластичность материалов и т.д.



Воспроизводимость



(А)



(Б)

Рис. 2.7 А - ошибка воспроизводимости: одному и тому же выходному сигналу соответствуют разные внешние воздействия. Б — мертвая зона на передаточной функции



Мертвая зона

- ◆ *Мертвая зона* — это нечувствительность датчика в определенном диапазоне входных сигналов (рис. 2.7Б). В пределах этой зоны выходной сигнал остается почти постоянным (часто равным нулю).



Разрешающая способность

- ◆ Разрешающая способность характеризует минимальное изменение измеряемой величины, которое может почувствовать датчик. При непрерывном изменении внешнего воздействия в пределах диапазона измеряемых значений выходные сигналы датчиков не будут всегда абсолютно гладкими, даже при отсутствии шумов. На них всегда будут видны небольшие ступеньки.



Разрешающая способность

- ◆ Особенно отчетливо это видно в потенциометрических датчиках, инфракрасных датчиках контроля территории с сетчатой маской и других устройствах, в которых выходные сигналы меняются только при определенных изменениях внешних воздействий. В дополнение к этому при преобразовании любого сигнала в цифровой код происходит его разбивка на маленькие ступеньки, каждой из которых приписывается конкретное значение. Величина изменения входного сигнала, приводящая к появлению минимальной ступеньки на выходном сигнале датчика при определенных условиях, называется его разрешающей способностью.



Разрешающая способность

- ◆ Например, для инфракрасного датчика контроля территории можно дать следующее определение разрешающей способности: «разрешающая способность — возможность обнаружения объекта на расстоянии 5 м при его перемещении на 20 см». Для проволочного потенциометрического датчика, используемого для измерения углов, разрешающая способность — это минимальный угол, равный, допустим, 0.5° . Иногда разрешающая способность определяется в процентах от полной шкалы FS (максимального значения входного сигнала). Например, для датчика измерения углов, у которого полный диапазон измеряемых значений равен 270° , разрешающую способность 0.5° можно представить как 0.181 % от FS.



Разрешающая способность

- ◆ Следует отметить, что размер ступени может меняться внутри диапазона измеряемых значений, поэтому, как правило, разрешающая способность определяется либо как средняя, либо как наихудшая величина. Разрешающая способность датчиков с цифровыми выходными сигналами часто задается числом бит слова данных. Например, в описании может быть информация, что разрешение датчика равно 8 бит. Отсюда можно получить либо полный диапазон входных сигналов, либо оценить величину младшего значащего разряда (МЗР). Если на выходном сигнале не удастся определить различимых ступеней, говорят, что датчик обладает бесконечно большим разрешением. Термин «бесконечное разрешение» является ошибочным.



Литература

- ◆ 1. Benedict, R. P. Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements, 3rd ed. John Wiley & Sons, New York, 1984.
- ◆ 2. Plandts, L. Essentials of Fluid Dynamics. Hafner, New York, 1952.
- ◆ 3. Di Giovanni, M. Flat and Corrugate Diaphragm Design Handbook. Marcel Dekker. New York, 1982.
- ◆ 4. Neubert, H. K. P. Instrument Transducers. An Introduction to Their Performance and Design, 2nd ed.. Clarendon Press, Oxford, 1975.
- ◆ 5. Clark, S. K. and Wise, K. D. Pressure sensitivity in anisotropically etched thin-diaphragm pressure sensor. IEEE Trans. Electron Dev., ED-26,1887-1896,1979.

