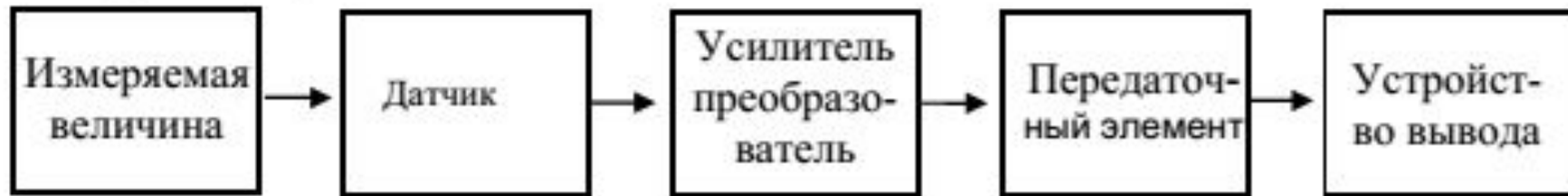


Физические методы измерений

Лекция 2

Основные блоки измерительных устройств



В систему подается входной сигнал x_e , а после обработки на ее выходе появляется сигнал x_a . Обе эти величины связаны друг с другом определенными соотношениями, которые характеризуют систему.

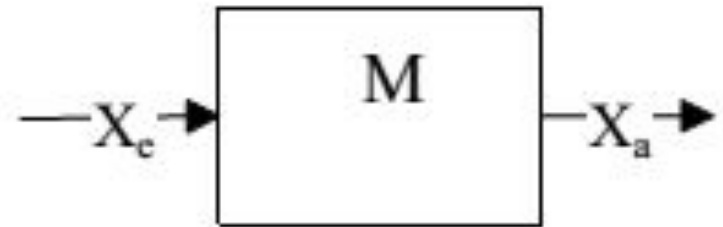
Эти соотношения называют **передаточными характеристиками**.

Многие передаточные характеристики не зависят от конкретного прибора, а имеют общую природу.

Статические передаточные характеристики

Между выходным x_a и входным x_e сигналами существует функциональная зависимость

$$x_a = f(x_e). \quad (1)$$



Такая функциональная зависимость для измерительной системы должна быть **однозначной**.

Она, например, не должна обладать гистерезисом (при возрастании и убывании измеряемой величины зависимость $f(x_e)$ должна оставаться одной и той же).

$$x_a = f(x_e). \quad (1)$$

Если функциональная зависимость (1) изображена графически, то ее называют **характеристической кривой**.

С точки зрения техники измерений удобнее всего работать с линейными зависимостями, т. е. прямыми, которые к тому же проходят через начало отсчета.

$$x_a = Kx_e. \quad (2)$$

Величину K называют **коэффициентом передачи**, её размерность

$$[K] = [x_a] \cdot [x_e]^{-1} \quad (3)$$

Если речь идет о сложном измерительном приборе или целом измерительном устройстве, то величину K обычно называют **чувствительностью S** .

Величина чувствительности показывает, какое изменение Δx_e

входного сигнала необходимо для того, чтобы выходной сигнал изменился на Δx_a

$$S = \frac{\Delta x_a}{x_e} \equiv K \quad (4)$$

Если схема содержит **нелинейный элемент**, то чувствительность

S определяется по нелинейной характеристической кривой с помощью производной:

$$S = \frac{dx_a}{dx_e} \quad (5)$$

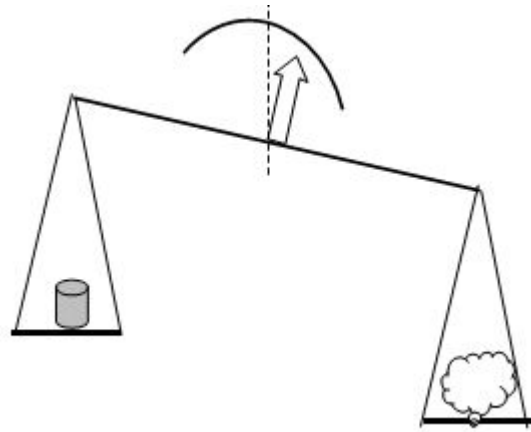
В этом случае чувствительность уже не постоянна, а зависит от $[x_e; x_a]$.
рабочей точки

Методы измерений

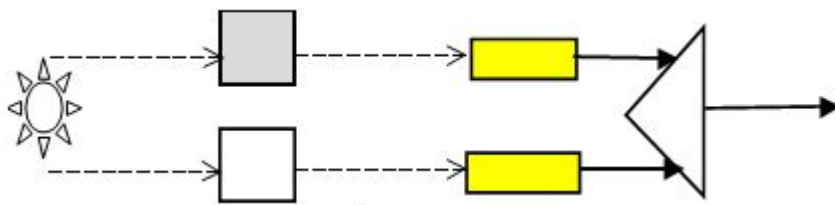
Рассматривая различные по физическому содержанию методы измерений, можно выделить **три основных подхода** к их проведению– метод отклонений, разностный и нулевой метод измерений.

1. **Метод отклонений** состоит в том, что измеряется вся величина.
2. **Разностным методом** измеряется отклонение интересующей нас величины от какого-либо стандарта.
3. **Нулевой метод** измерения состоит в полной компенсации измеряемой величины путем приложения внешнего воздействия. Регистрируется при этом не сама величина, а факт отсутствия сигнала.

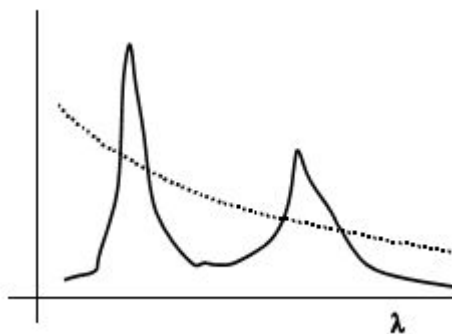
Разностный метод



коромысловые весы показывают отличие веса груза от веса гири при неполном уравнивании системы



В схеме двухлучевой спектрофотометрии, когда спектр раствора исследуемого соединения, помещенного в кювету, регистрируется относительно точно такой же кюветы, заполненной растворителем без вещества.



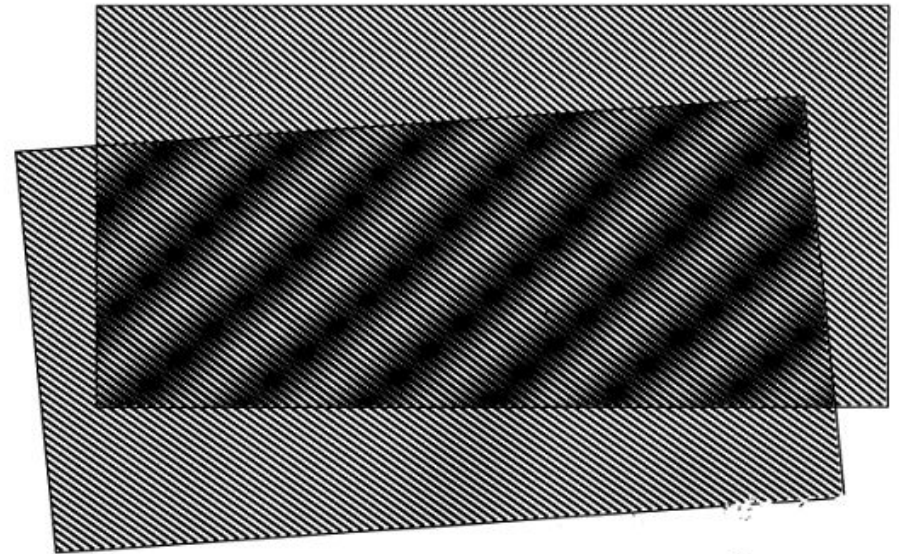
это помогает исправить спектры поглощения, исключив смещение нулевой линии (показано пунктиром на рис.), вызванное рассеянием света

Разностный метод лежит в основе исследования периодических процессов или структур путем сравнения их с периодическими эталонами.

Известно, что при сложении двух звуковых волн с различными периодами возникают биения, период которых T зависит от разности частот звуковых волн:

$$T = \frac{2\pi}{\Delta\omega} \quad (6)$$

Возникновение картины муара (пространственные биения) при наложении двух периодических структур со слабо различающимися периодами



Пространственный период L в этом случае выражается аналогично

$$L = \frac{2\pi}{\Delta k}; \quad \left(k = \frac{2\pi}{\lambda}\right) \quad (7)$$

k - волновое

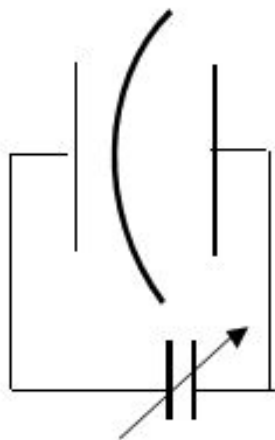
Одним из главных достоинств разностного метода измерений является перенос масштабов, на которых производятся измерения.

В соответствии с (6) и (7) возникающие масштабы T и L тем больше, чем меньше различия в периодах исследуемой и эталонной структурой.

Пространственный масштаб L дифракционной картины, возникающий при рассеянии рентгеновских лучей на кристалле с периодичностью $\sim 1\text{\AA}$, составляет несколько миллиметров.

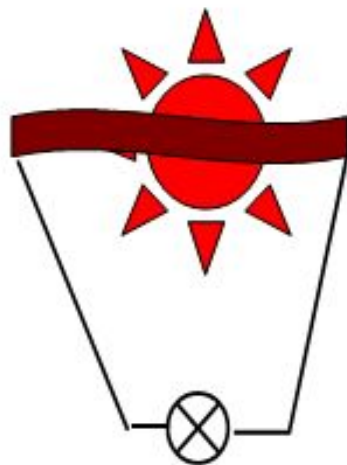
Нулевой метод измерения

Датчик механических смещений



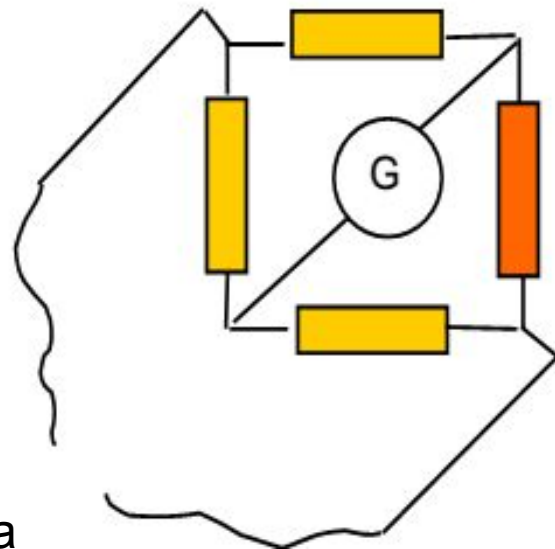
в механических измерениях служит упругая мембрана, деформация которой измеряется по изменению емкости конденсатора, одной из пластин которого мембрана является.

Яркостный пирометр



Пример оптических нулевых измерений – определение температуры светящегося тела с помощью яркостного пирометра. Яркость объекта сравнивают с яркостью нагреваемой током нити, совпадение яркостей («исчезновение» нити на фоне изображения) свидетельствует о равенстве температур.

Мост Уитстона



Классическим примером нулевого метода является использование моста Уитстона для измерения электрических величин

Основные характеристики измерительных систем

Важнейшими метрологическими характеристиками любой измерительной системы являются

- чувствительность,
- разрешающая способность,
- динамический диапазон,
- пространственное разрешение,
- время отклика

Величина чувствительности показывает, какое изменение Δx_e входного сигнала необходимо для того, чтобы выходной сигнал изменился на Δx_a

Разрешающей способностью называют отношение

$$R = \frac{x}{\delta x}$$

δx – минимальное изменение входного сигнала, которое может быть обнаружено. Важно подчеркнуть, что значение R не является абсолютной характеристикой данного метода измерений.

Если предположить, что δx является константой во всем диапазоне измеряемых значений x , то разрешающая способность возрастает в области больших

x

Динамический диапазон

D

$$D = \frac{x_{\max}}{x_{\min}} \rightarrow \frac{x_{\max}}{\delta x}$$

определяет ширину области, в которой сигналы могут быть измерены.

Пространственное разрешение метода измерений

Пространственное dV или поверхностное dS разрешение можно ввести с помощью следующего соотношения:

$$\delta x = \int_S x_S dS = \int_V x_V dV$$

Соотношение не следует понимать так, что пространственное разрешение всегда ограничивается величиной входного сигнала, в ряде случаев предел пространственному разрешению ставят технические возможности изготовления датчика требуемого размера.

Любое физическое измерение требует конечного времени, поскольку в процессе измерения объект и измерительное устройство обмениваются энергией.

Для измерительной системы вводят **понятие времени отклика** τ . Символически понятие времени отклика можно ввести соотношением

$$\delta x = \int_{\tau} x_t dt$$

Обратим внимание на то, что во все соотношения входит величина δx , которую называют порогом обнаружения.

Порог обнаружения– это минимальный входной сигнал, который может быть обнаружен с заданной степенью достоверности.

Для создания «хорошей» во всех отношениях измерительной системы нужно устремить $\delta x \rightarrow 0$, но это стремление вступает в противоречие с достоверностью обнаружения сигнала. Надежность регистрации сигнала ограничивают **погрешности измерений**.

Качество измерений характеризуется:

- *точностью,*
- *достоверностью,*
- *правильностью,*
- *сходимостью*
- *воспроизводимостью измерений.*

Точность измерительного прибора это - метрологическая характеристика прибора, определяемая *погрешностью измерения*, в пределах которой можно обеспечить использование данного измерительного прибора

Класс точности средства измерений (ГОСТ 8.401-80) является обобщенной характеристикой средства измерений,

Класс точности характеризует свойства средства измерения, но не является показателем точности выполненных измерений, поскольку при определении погрешности измерения необходимо учитывать погрешности метода, настройки и др.

В зависимости от точности приборы разделяются на **классы**: первый, второй и т.д.

Допускаемые погрешности для разных типов приборов регламентируются государственными стандартами.

Точность - это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Количественная оценка точности - обратная величина модуля относительной погрешности. Например, если погрешность измерений равна 10^{-6} , то точность равна 10^6 .

Точность измерения зависит от погрешностей возникающих в процессе их проведения

- **Абсолютная погрешность измерения** - разность между значением величины, полученным при измерении, и ее истинным значением, выражаемая в единицах измеряемой величины. $\Delta x = x_{\text{изм}} - x_{\text{ист}}$
- **Относительная погрешность измерения** - отношение абсолютной погрешности, измерения к истинному значению измеряемой величины. $\delta x = \frac{\Delta x}{x_{\text{ист}}}$
- **Систематическая погрешность измерения** - составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или изменяющаяся по определенному закону при повторных измерениях одной и той же величины. Систематическая погрешность может быть исключена с помощью поправки.
- **Случайная погрешность** - составляющая погрешности измерения, изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины случайным образом.
- **Грубая погрешность измерения** - погрешность, значение которой существенно выше ожидаемой.

Погрешности измерений

Погрешности принято делить на

- случайные
- систематические.

Систематическая погрешность обусловлена влиянием измерительного устройства на измеряемую величину.

Особенностью систематических погрешностей является то,

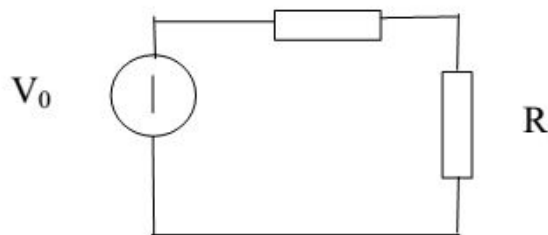
что величина их может быть оценена и при необходимости скорректирована на величину

$$V_i = V_0 \frac{R_i}{R_0 + R_i}$$



R_0

Систематическая погрешность при измерении температуры с помощью термопары.



Источники **случайной погрешности** измерений можно разделить на

- шумы
- помехи.

Принципиальное отличие между ними состоит в том, что шумы, в отличие от помех, являются неотъемлемой составляющей процесса измерения и полностью устранены быть не могут, тогда как принципиального запрета на полное устранение помех не существует.

Если ограничиться только электрическими сигналами, то можно выделить три основных источника помех:

- космические,
- атмосферные,
- промышленные.

В зависимости от последовательности причины возникновения различают следующие виды погрешностей.

- **Инструментальная погрешность** - составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешностей применяемых средств. Эти погрешности определяются качеством изготовления самих измерительных приборов.
- **Погрешность метода измерения** - составляющая погрешности измерения, вызванная несовершенством метода измерений.
- **Погрешность настройки** - составляющая погрешности измерения, возникающая из-за несовершенства осуществления процесса настройки.
- **Погрешность отсчёта** - составляющая погрешности измерения, вызванная недостаточно точным считыванием показаний средств измерений. Погрешность возникает из-за видимого изменения относительных положений отметок шкалы вследствие перемещения глаза наблюдателя - погрешность параллакса.

В зависимости от последовательности причины возникновения различают следующие виды

- **Погрешность поверки** - составляющая погрешности измерений, являющаяся следствием несовершенства поверки средств измерений. Погрешности от измерительного усилия действуют в случае контактных измерительных приборов. При оценке влияния измерительного усилия на погрешность измерения, необходимо выделить упругие деформации установочного узла и деформации в зоне контакта измерительного наконечника с деталью.
- **Влияющая физическая величина** - физическая величина, не измеряемая данным средством, но оказывающая влияние на результаты измеряемой величины, например: температура и давление окружающей среды; относительная влажность и др. отличные от нормальных значений.
- **Погрешность средства измерения**, возникающая при использовании его в нормальных условиях, когда влияющие величины находятся в пределах нормальной области значений, называют **основной**.

Достоверность измерений .характеризует степень доверия к результатам измерений. Достоверность оценки погрешностей определяют на основе законов теории вероятностей и математической статистики. Это дает возможность для каждого конкретного случая выбирать средства и методы измерений, обеспечивающие получение результата, погрешности которого не превышают заданных границ с необходимой достоверностью.

Правильность измерений - это качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в результатах измерений.

Сходимость - это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений одного и того же параметра, выполненных повторно одними и теми же средствами одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Воспроизводимость - это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в различных местах, различными методами и средствами).

Динамические свойства линейных передаточных элементов

Если входная величина $x_e(t)$ быстро меняется со временем, то

выходная величина может содержать искажения.

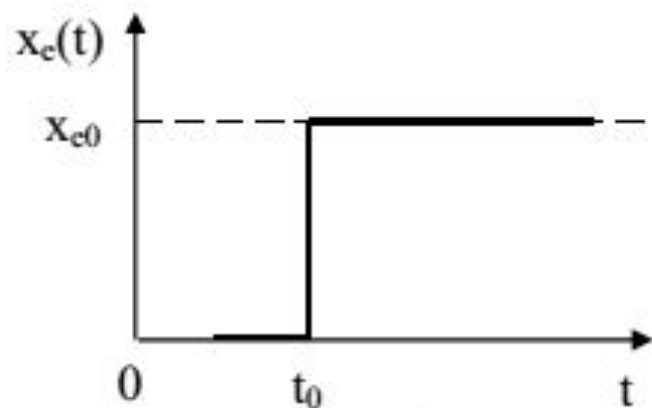
Только прямая экспериментальная проверка позволяет учесть все факторы, которые могут исказить выходной сигнал. В таких проверочных опытах входная величина изменяется по заданному закону, а выходная регистрируется с достаточно большим разрешением по времени.

Зависимости $x_e(t)$, которые используют для контроля передаточных характеристик прибора, называют **контрольными функциями**, а результирующие зависимости $x_a(t)$ на выходе — **функциями отклика**.

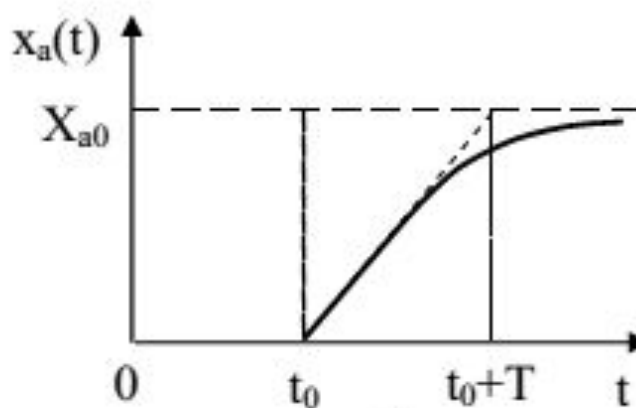
Наиболее важными контрольными функциями являются

- ступенчатая,
- единичная импульсная (δ -функция)
- синусоидальная функции.

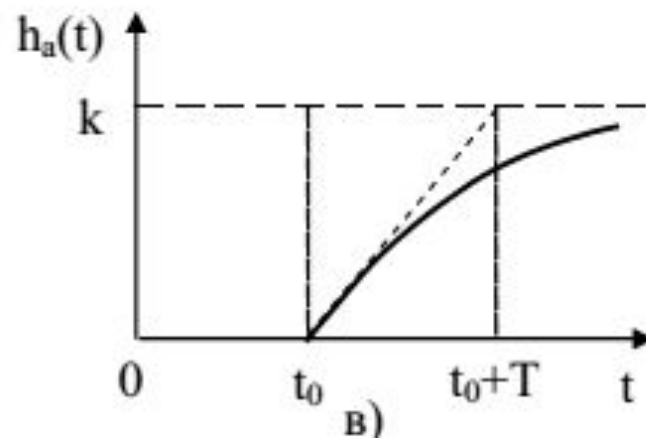
Передача непериодического сигнала



a)



б)



B)