Автоматизированные информационно-измерительные системы

Зав. каф. АПП
Кульчицкий Александр Александрович
doz-ku@rambler.ru

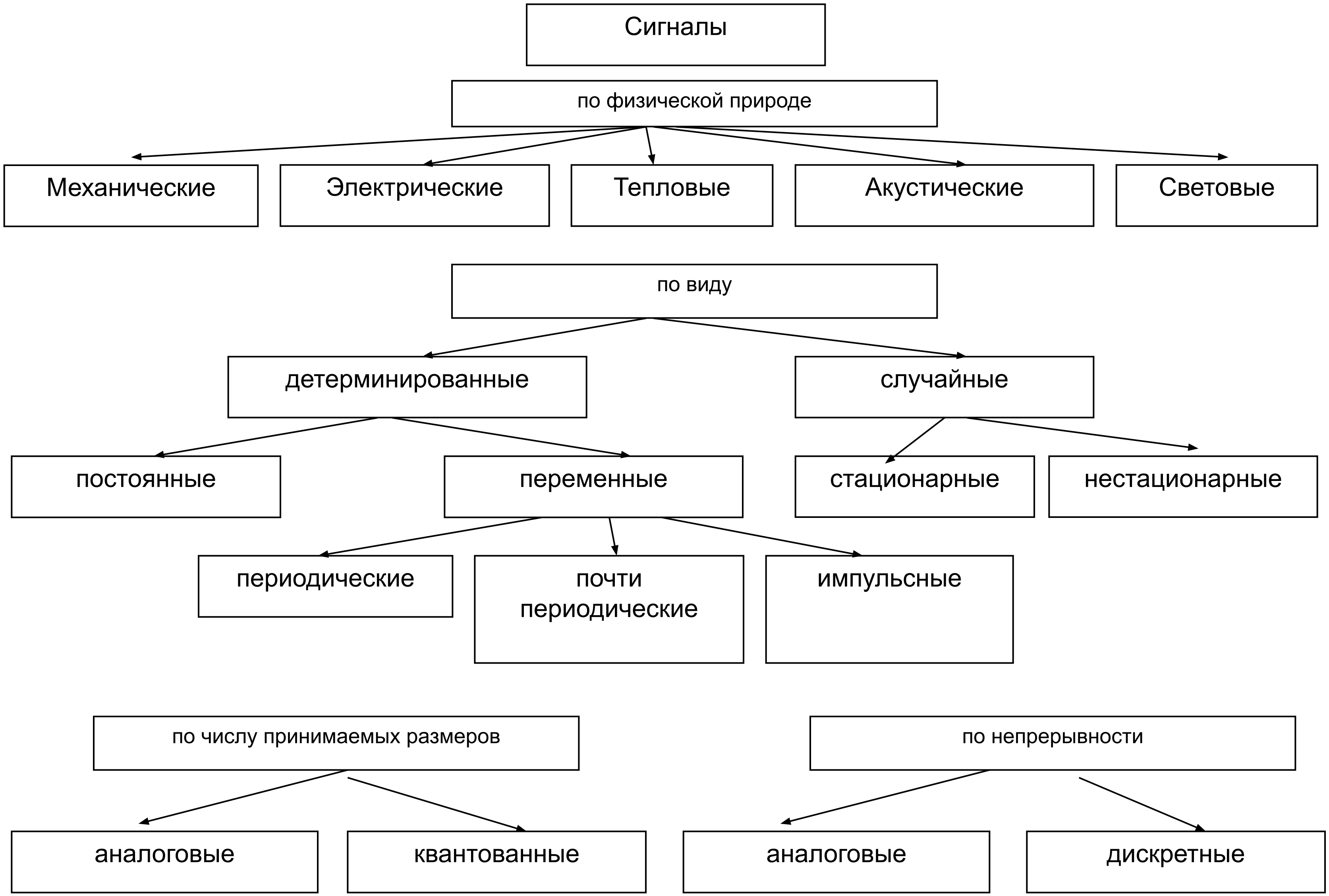
Лекция 8
Понятие измерительного сигнала и его преобразование

Понятие сигнала

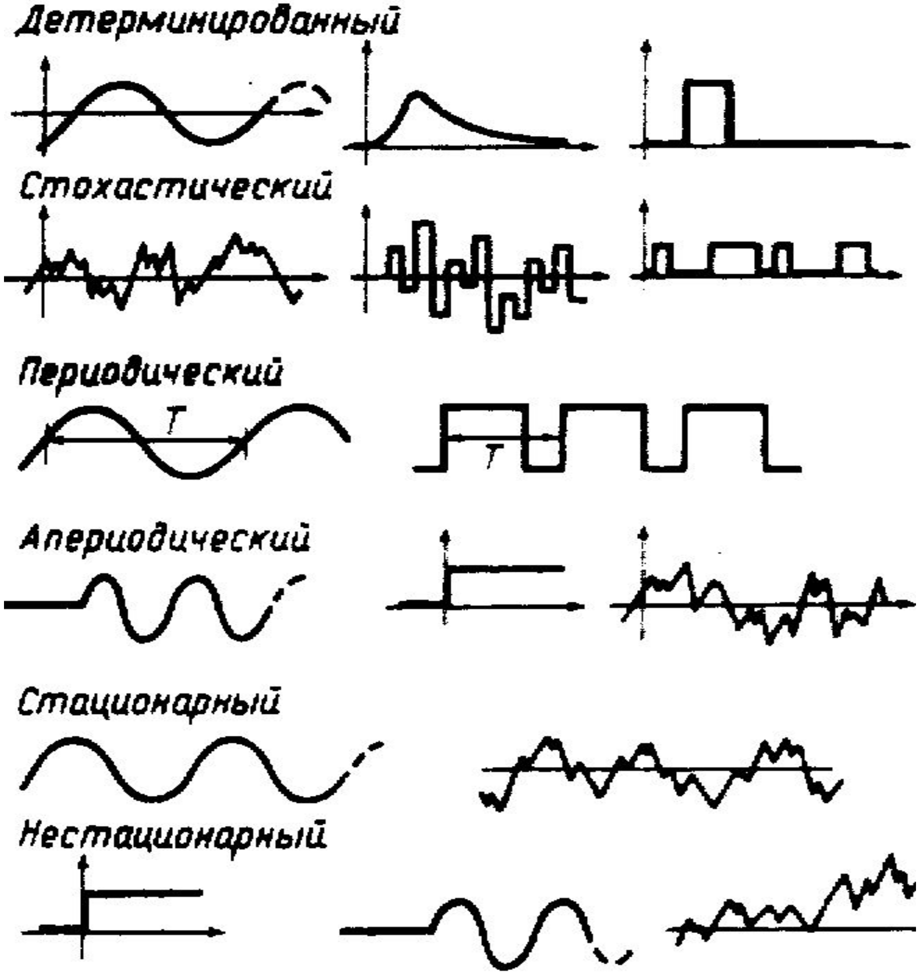
Сигнал - это информационная функция, несущая сообщение о физических свойствах, состоянии или поведении какой-либо физической системы, объекта или среды.

Целью обработки сигналов можно считать извлечение определенных информационных сведений, которые отображены в этих сигналах (кратко - полезная или целевая информация) и преобразование этих сведений в форму, удобную для восприятия и дальнейшего использования.

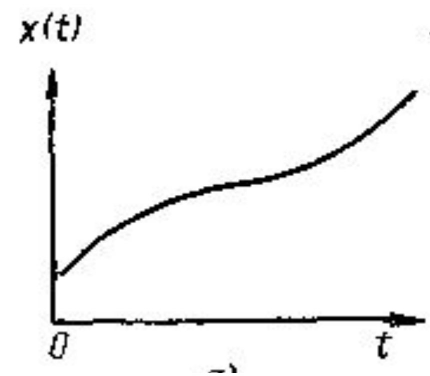
Классификации измерительных сигналов



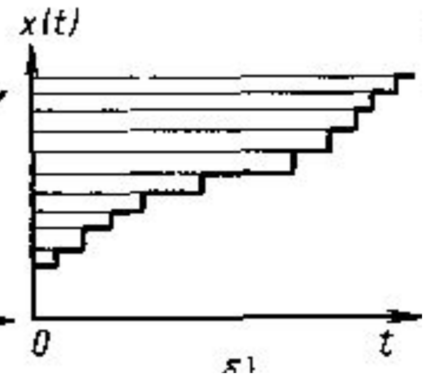
Виды сигналов



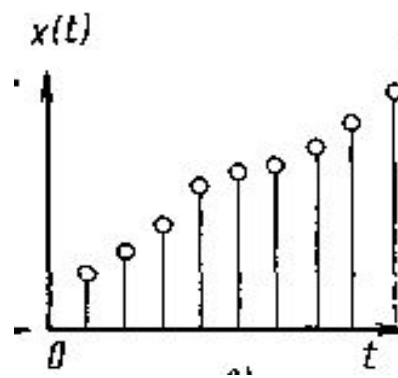
аналоговый



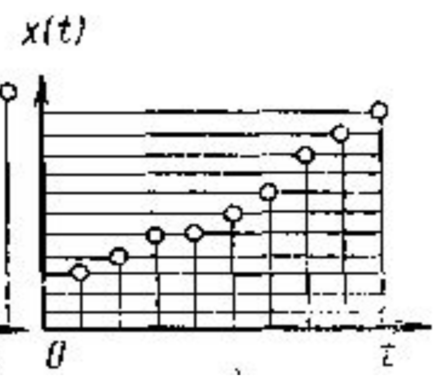
квантованный



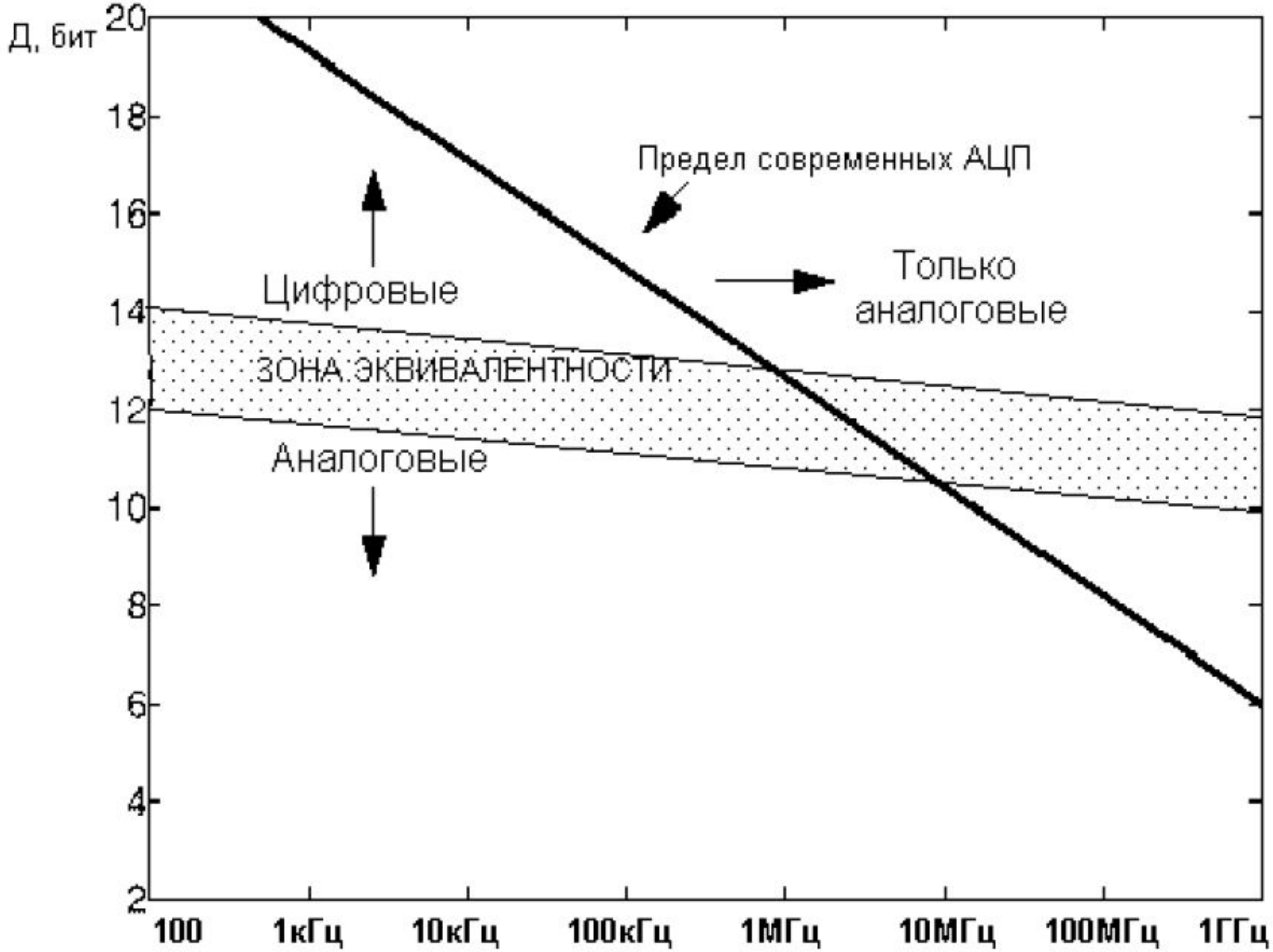
дискретный



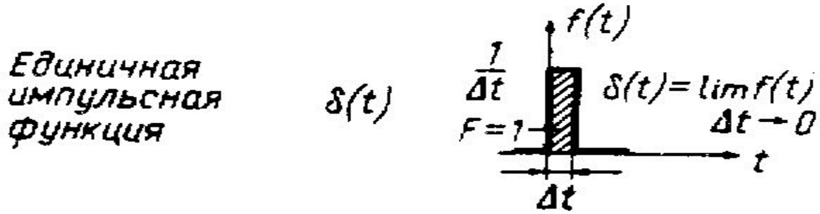
Квантованный дискретизированный



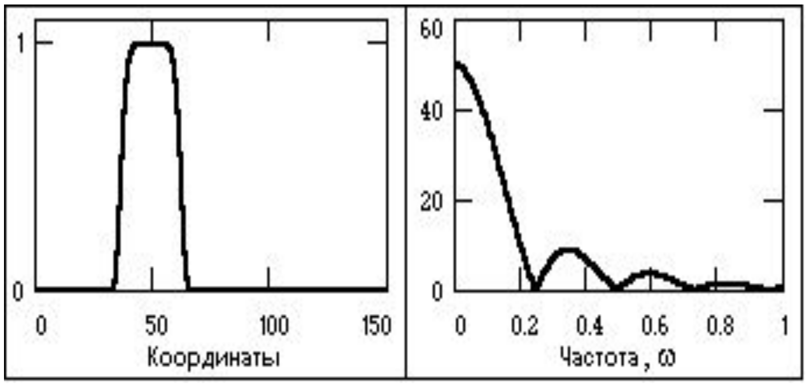
Области применения аналоговых и цифровых сигналов

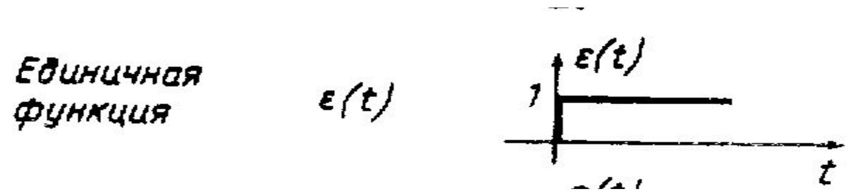


Импульсные сигналы



$$\delta(t)=\lim_{\Delta t\to 0} f(t)=\lim_{\Delta t\to 0}\begin{cases}0 \;\; \textit{при} \;\; t < 0;\\ 1/\Delta t \;\; \textit{для} \;\; 0\le t < \Delta t;\\ 0 \;\; \textit{при} \;\; t\ge 0.\end{cases}$$

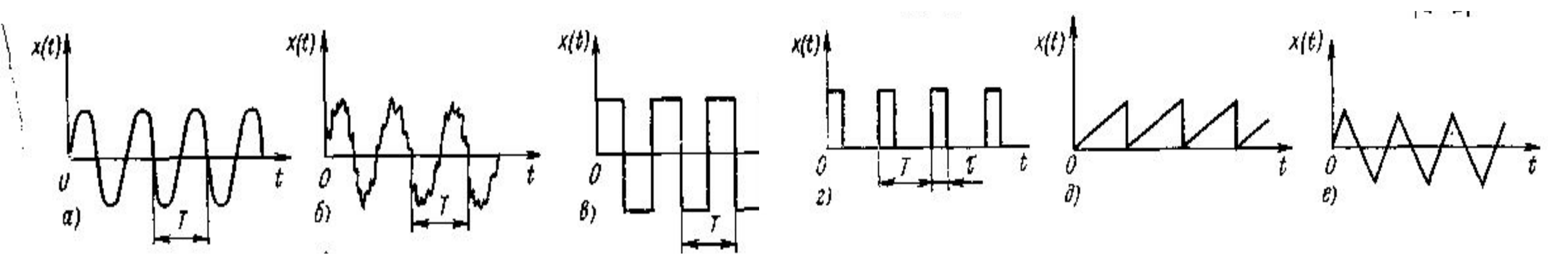




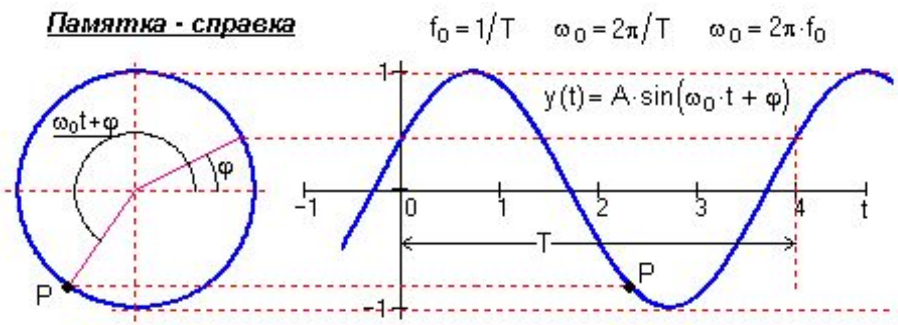
$$\varepsilon(t)=\begin{cases}0 \;\; \textit{при} \;\; t\le 0;\\ 1 \;\; \textit{при} \;\; t \rangle 0.\end{cases}$$

Периодические сигналы

$$x(t)=x(t+kT),\ (k=0,\ \pm 1,\ \pm 2,\ldots),$$



Гармонические сигналы



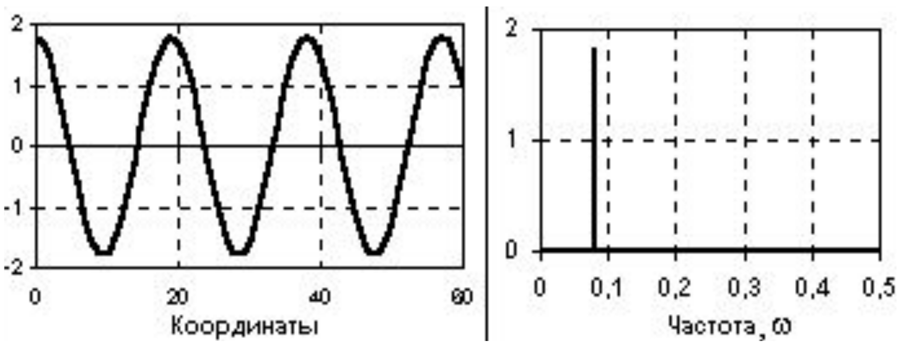
В комплексной форме

(с использованием уравнения Эйлера)

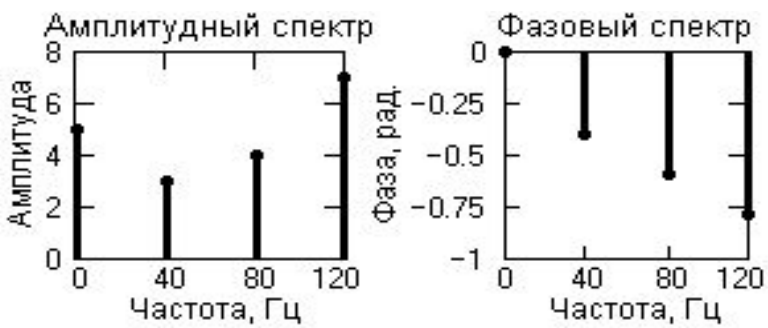
$$\hat{x}(t) = \hat{x}\cos(\omega t+\varphi) + i\,\hat{x}\sin(\omega t+\varphi) = \hat{x}e^{i(\omega t+\varphi)}.$$

Периодический сигнал может быть представлен рядом Фурье

x(t) = X0 + ∑Xk cos(kωt + ψk)



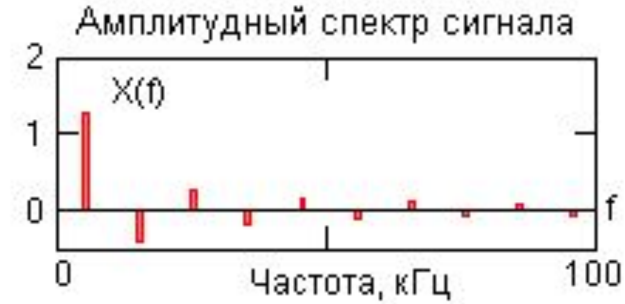
Временная модель сигнала



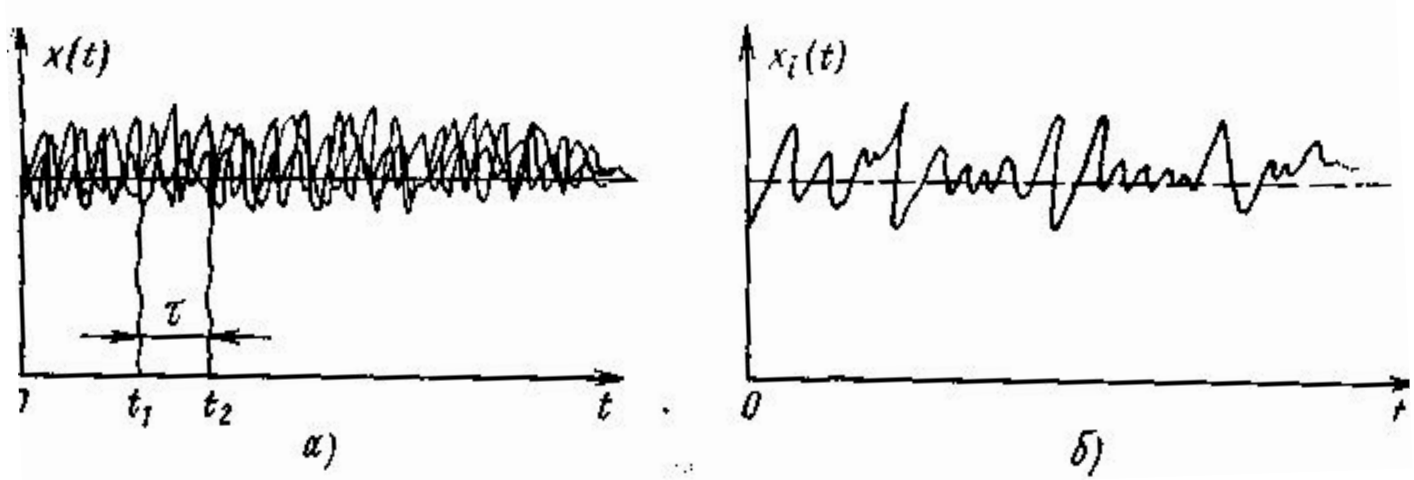
Спектр сигнальной функции.

s(t) =Ak · cos(2 · p · fk · t+jk),
где: Ak = {5, 3, 4, 7} - амплитуда гармоник;
fk = {0, 40, 80, 120} - частота в герцах;
jk = {0, -0.4, -0.6, -0.8} - начальный фазовый угол колебаний в радианах; k = 0,1,2,3.
Фундаментальная частота сигнала 40 Гц

Прямоугольный периодический сигнал (меандр)



Случайные сигналы



Функция распределения вероятностей

F(x) = P(x<x1)

$$\overline{x} = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} h(x)dx.$$ - среднеквадратичное

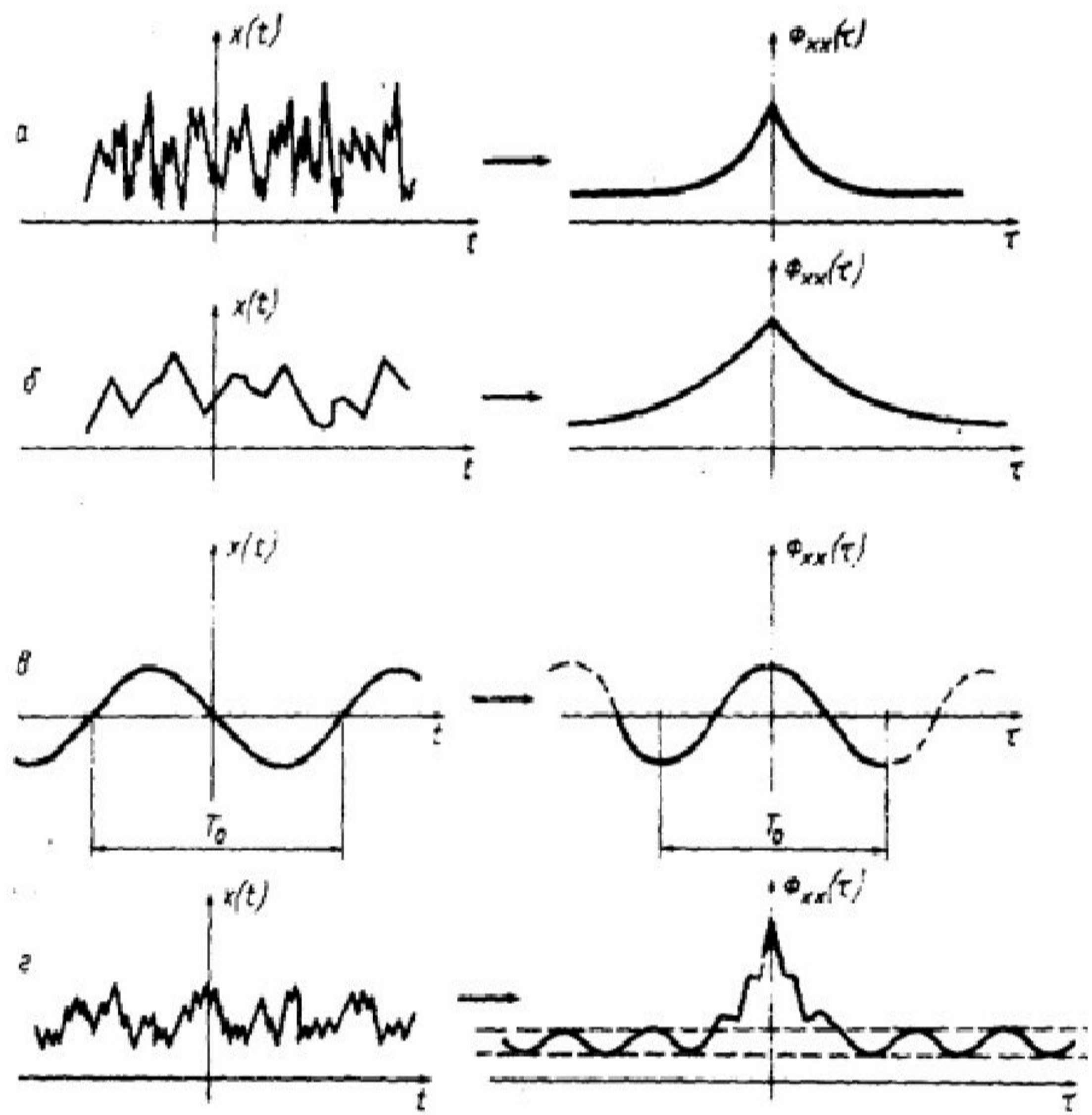
$$\sigma^2 = \frac{1}{T}\int_0^T \left(x(t) - \overline{x}\right)^2 dt = \overline{x}^2 - \overline{x}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} h(x)(x - \overline{x})^2 dx.$$ - дисперсия

Плотность распределения

$$p(x) = \frac{dF}{dx}$$

$$\int_{-\infty}^{x} p(x)\,dx = F(x) \quad \text{и} \quad \int_{-\infty}^{\infty} p(x)\,dx = 1.$$

Случайные сигналы и корреляционная функция



$$\Phi_{xx}(\tau) = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{+T/2} x(t)\cdot x(t+\tau)\,dt.$$

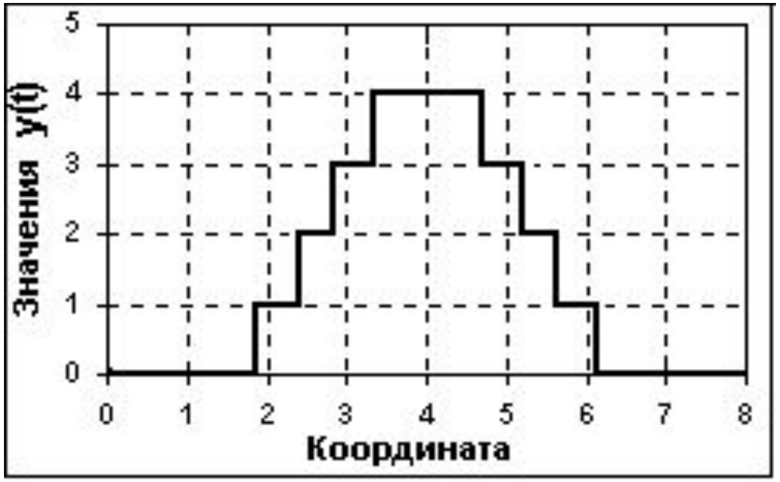
Примеры сигналов и их автокорреляционных функций: а – стохастический сигнал с малой тенденцией к сохранению; б - стохастический сигнал с большой тенденцией к сохранению; в - периодический сигнал; г – сигнал, имеющий периодическую и стохастическую составляющую

Преобразование сигналов

Основные операций преобразования:

1. функциональное изменение,
2. квантование,
3. дискретизация,
4. восстановление,
5. сравнение,
6. фильтрация,
7. модуляция,
8. детектирование
9. запоминание.

Дискретизация и квантование



$$1\,(t-t_i)=\begin{cases}1 & t-t_i\rangle 0;\\ 0 & t-t_i\langle 0,\end{cases}$$

$$\tilde{x}_i(t)=n(t_i)\,\Delta x_i\,1\,(t-t_i$$

$$\xi(x)=\tilde{x}_i-x,$$

Квантованный-аналоговый сигнал

$$x(iT_{\text{ц}})=\sum_{i=1}^{n}x(t_i)\,\delta(t-iT_{\text{ц}}),$$

$$y(t)=\sum_{i=1}^{n}a_i\varphi_i(t),\qquad \int_0^T\varphi_i\varphi_k\,dt=\begin{cases}1 \text{ при } i=k;\\ 0 \text{ при } i\neq k,\end{cases}$$

Дискретный сигнал

$$u(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}u(n\Delta t)\frac{\sin\omega_g(t-n\Delta t)}{\omega_g(t-n\Delta t)},$$

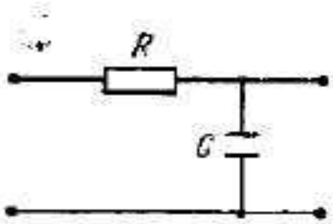
Теорема Котельникова

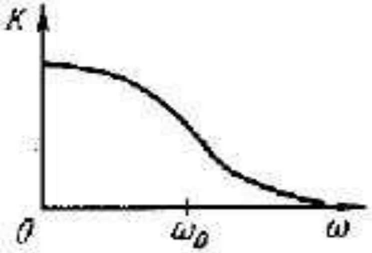
Теорема отсчётов Уиттакера-Найквиста-Котельникова-Шеннона (*теоре́ма Коте́льникова*) гласит, что если непрерывный сигнал *x(t)* имеет спектр, ограниченный частотой *Fmax*, то он может быть однозначно и без потерь восстановлен по своим дискретным отсчётам, взятым с частотой *fдискр=2*Fmax*, или, по-другому, по отсчётам, взятым с периодом *Tдискр=* 1/2 Fmax .

Теорема была сформулирована В. А. КотельниковымТеорема была сформулирована В. А. Котельниковым в 1933 году в его работе «О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи» и является одной из основополагающих теорем в теории и технике цифровой связи.

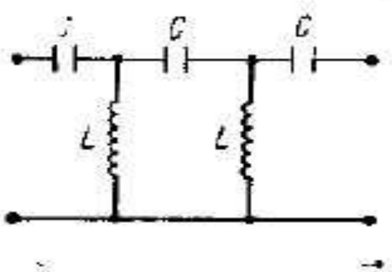
Фильтрация сигналов

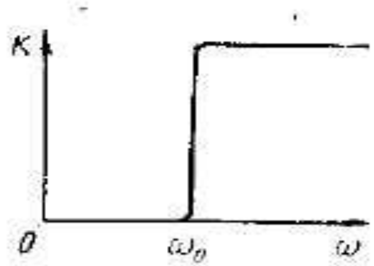
- Операция выделения из спектра сигнала определенной полосы частот называется фильтрацией.
- Фильтрацию можно классифицировать:
- по роду преобразований на:
  - аналоговую
  - цифровую,
- по расположению полос пропускания — на фильтрацию
  - низких частот
  - высоких частот
  - полосовую схема
  - заграждающую схема.



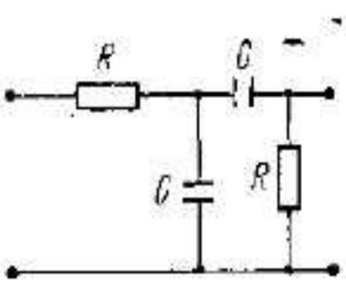


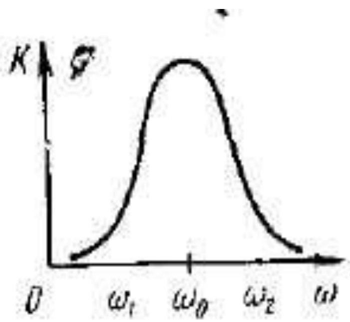
$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$





$$\omega_0 = \frac{1}{2\sqrt{2C}}$$





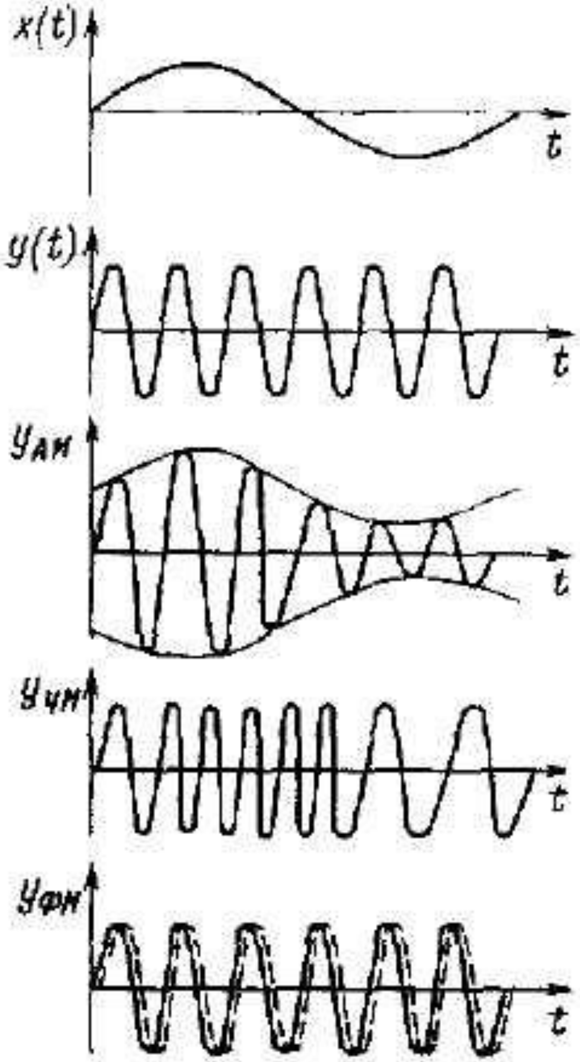
$$\omega_0 = \frac{1}{RC},$$

ω_1 и ω_2 соответствуют $K/\sqrt{2}$

Модуляция сигналов

- *Модуляция* - изменение одного или нескольких параметров высокочастотного колебания по закону передаваемого сообщения. Частоты модулирующего сигнала должны быть малы по сравнению с частотой несущей.

Модуляция сигналов



$$y(t) = y_m \sin(\omega_0 t + \psi_0),$$

Амплитудная

$$y = y_m [1 + m x(t)] \sin(\omega_0 t + \psi_0).$$

Если $x(t) = x_m \sin \Omega t$,

$$y = y_m \left\{ \sin(\omega_0 t + \psi_0) + \frac{m x_m}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega) t + \psi_0] - \frac{m x_m}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega) t + \psi_0] \right\}.$$

амплитудная

Частотная

$$\omega(t) = \omega_0 + m x(t),$$

$$x(t) = x_m \cos(\Omega t + \theta), \text{ то}$$

частотная

$$\omega(t) = \omega_0 + m x_m \cos(\Omega t + \theta).$$

$$y(t) = y_m \sin\left[\omega_0 t + \frac{m x_m}{\Omega} \sin(\Omega t + \theta) + \psi_0\right].$$

фазовая

Фазовая

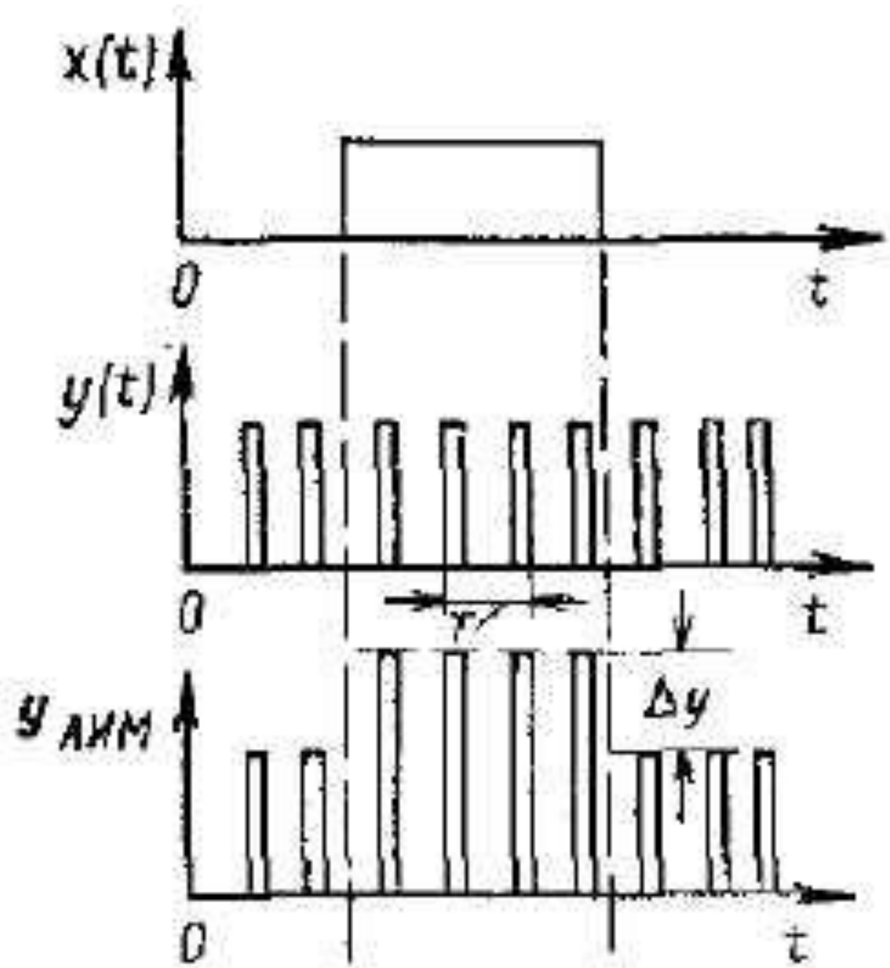
$$y(t) = y_m \sin[\omega_0 t + \psi_0 (1 + m x(t))].$$

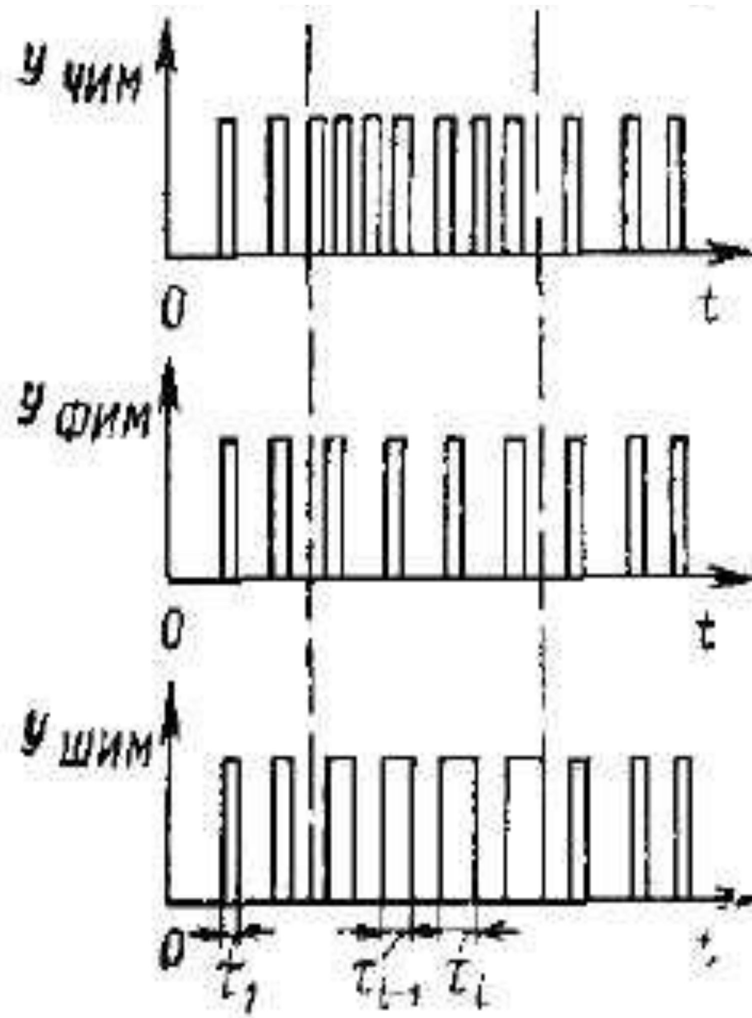
Если модулирующий сигнал $x(t) = x_m \sin(\Omega t + \theta)$, то

$$y(t) = y_m \sin[\omega_0 t + \psi_0 + m_ф \sin(\Omega t + \theta)],$$

Импульсная модуляция

$$y(t) = y_m \sum_{i=1}^{\infty} \delta(t - iT)$$





Детектирование

- *Детектирование* (демодуляция) - выделение низкочастотного сообщения (информационного электрического сигнала) из модулированного высокочастотного сигнала. Осуществляется с помощью различного рода детекторов (синхронных, амплитудных, квадратичных)

Лекция 10
Методы повышения точности средств измерений

Основные способы и методы повышения точности измерений

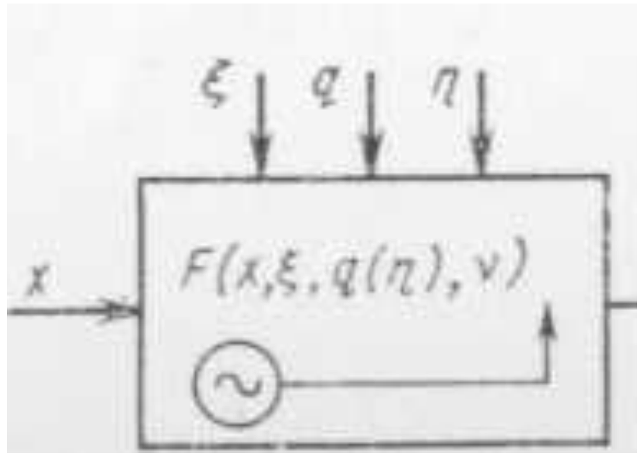
РМГ 64-2003

- **1. Замена менее точного средства измерений на более точное (приобретение или разработка специальных средств измерений)**
  - Этот способ повышения точности измерений эффективен при доминирующих инструментальных составляющих погрешности измерений.
- **2. Ограничение условий применения средств измерений**
  - Этот способ повышения точности измерений целесообразен, если доминируют дополнительные погрешности средств измерений
- **3. Индивидуальная градуировка средства измерений**
  - Этот способ повышения точности измерений эффективен при доминирующих систематических составляющих погрешности средств измерений.
- **4. Выполнение многократных наблюдений с последующим усреднением их результатов**
  - Этот способ эффективен при доминировании случайной составляющей погрешности измерений.
- **5. Автоматизация измерительных процедур**

- **6. Внедрение способов контроля работоспособного состояния средств измерений в процессе их эксплуатации**
  - Это мероприятие способствует выявлению, исключению или снижению метрологических отказов в средствах измерений.
- **7. Разработка или совершенствование методик выполнения измерений**
  - Если доминируют методические составляющие погрешности измерений, то этот способ повышения точности измерений является единственно эффективным.
- **8. Метод сравнения с мерой**
  - Метод сравнения с мерой основан на том, что размер измеряемой величины сравнивают с
- **9. Использование тестовых методов**
  - Сущность тестовых методов повышения точности измерений заключается в определении параметров статической функции преобразования (далее - СФП) с помощью дополнительных преобразований тестов, каждый из которых функционально связан с измеряемой величиной.

- **10. Метод обратного преобразования**
  - Этот метод применяют при автоматической коррекции погрешности средств измерений. Эффективен только в том случае, если обратный преобразователь значительно точнее прямого преобразователя.
  - На вход обратного преобразователя подают реальный выходной сигнал средства измерений. Разность двух сигналов (входной сигнал средства измерений минус выходной сигнал обратного преобразователя) соответствует погрешности средства измерений и может быть использована для выработки корректирующего сигнала как в системе самонастройки, так и в системе введения поправок.
- **11. Использование информационной избыточности**
  - Под информационной избыточностью понимают такое состояние измерительной информации, при котором она более необходима для реализации функций управления объектов.

Функциональная схема измерительного прибора



$$y(t) = F\,[x, \xi, q\,(\eta), \nu],$$

x(t) - сигнал
ξ(t) - возмущения на сигнал *x(t),*
q (*η) -* помехи *η(t),* действующих на параметры прибора *q,*
ν - помехи, возникающих в самом приборе

Методы повышения точности средств измерений

1. конструктивно-технологические,
2. структурные,
3. алгоритмические,
4. инвариантные,
5. комплексные.

Конструктивно-технологические методы основаны на повышении качества материалов, деталей, сборки, регулировании и т. д.

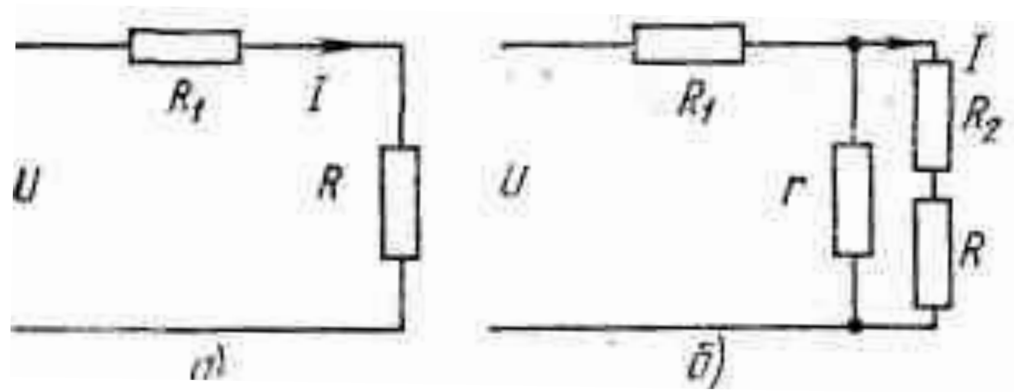
Структурные методы

Основная идея структурных методов повышения точности состоит в том, чтобы из неточных элементов путем их рационального соединения создать точные приборы. Достигается это тем, что в измерительную цепь прибора включают корректирующие звенья и элементы.

Схемы температурной компенсации

$$R = R_0(1 + \alpha\theta)$$

R_1=const



а) $$R + R_1 = (R_0 + R_1)[1 + R_0\alpha/(R_0 + R_1)].$$

$$\frac{R_0}{R_0 + R_1}$$

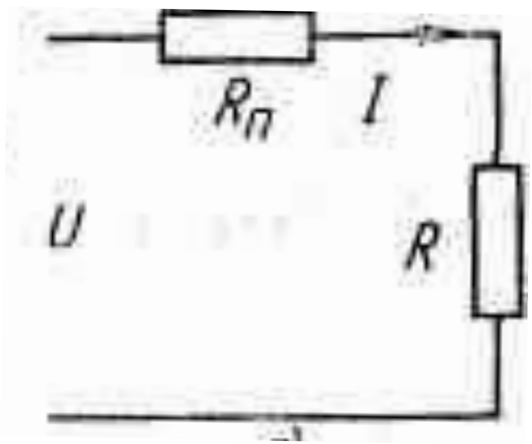
$$r = r_0(1 + \alpha\theta)$$

б)

$$I = U/[R_0 + R_1 + R_2 + R_0R_1/r_0 + (R_0 - R_1R_2/r_0)\alpha\theta].$$

$$R_0 = R_1R_2/r_0,$$

Схема компенсации сопротивлением с обратным температурным коэффициентом



$$R_n = R_{n0}\left(1 - \alpha\Theta\right)$$

$$R + R_п = (R_0 + R_{п0})\left[1 + (\alpha R_0 - \alpha_п R_{п0})\theta/(R_0 + R_{п0})\right].$$

$$\alpha R_0 = \alpha_п R_{п0}.$$

Инвариантные методы

Инвариантные методы сводятся к выбору точных связей, при которых система не реагирует на внешние возмущения.

Можно отметить два способа:
а) уменьшение погрешностей за счет уменьшения возмущений ξ, q, η и v на прибор;
б) уменьшение погрешностей за счет уменьшения коэффициентов влияния $\beta 1$, $\beta 2$, $\beta 3 \ldots \beta n$.

Принцип Аббе - отсчетное устройство должно быть на одной линии с измеряемым размером

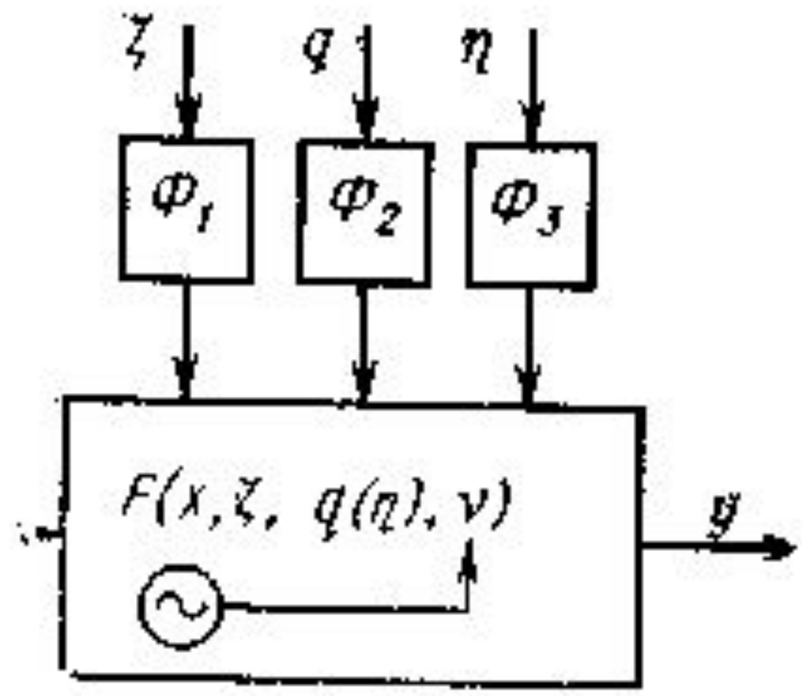
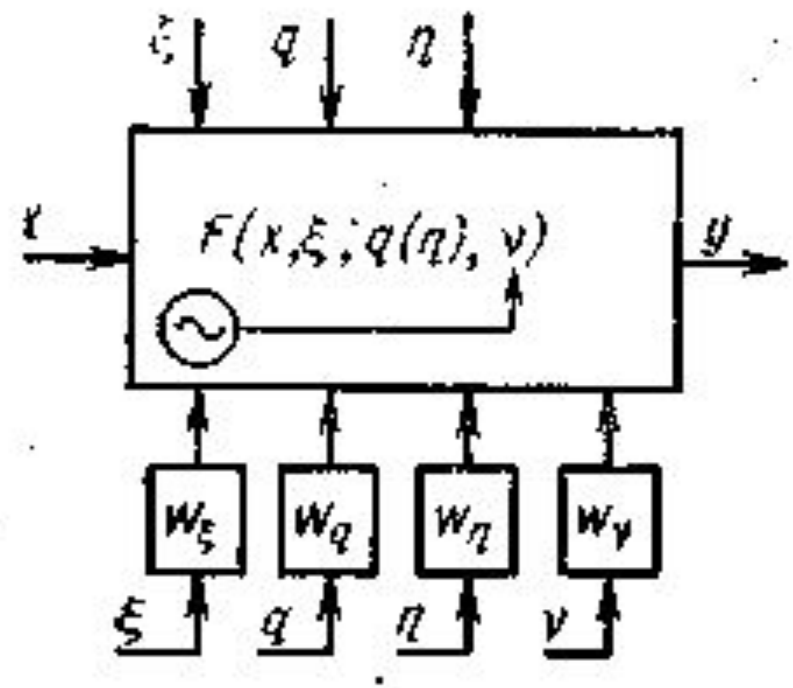
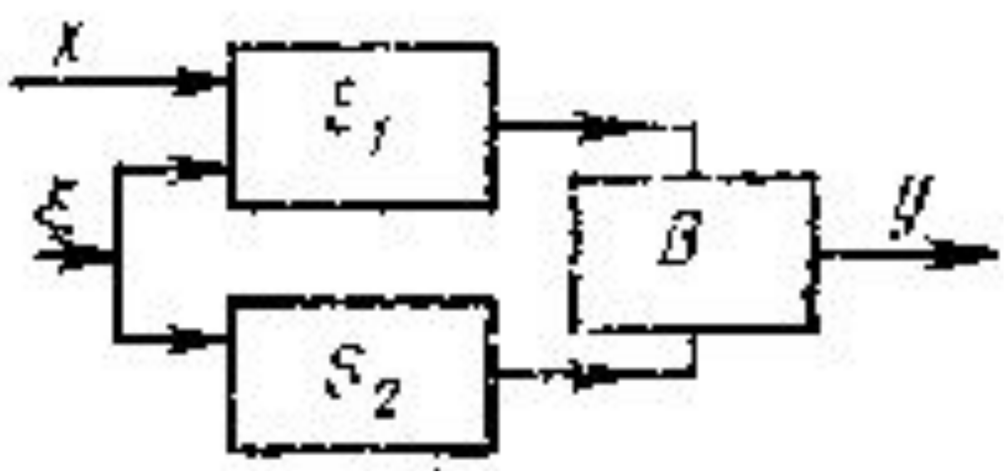


схема защиты прибора от возмущений, которые пропускаются через фильтры $Ф_1$ $Ф_2$, $Ф_3$. Здесь под фильтрами следует понимать собственно фильтры, амортизаторы, экраны и т. д.

Реализация принципа инвариантности путем создания в схеме прибора компенсирующих сигналов, противоположных по знаку погрешностям.

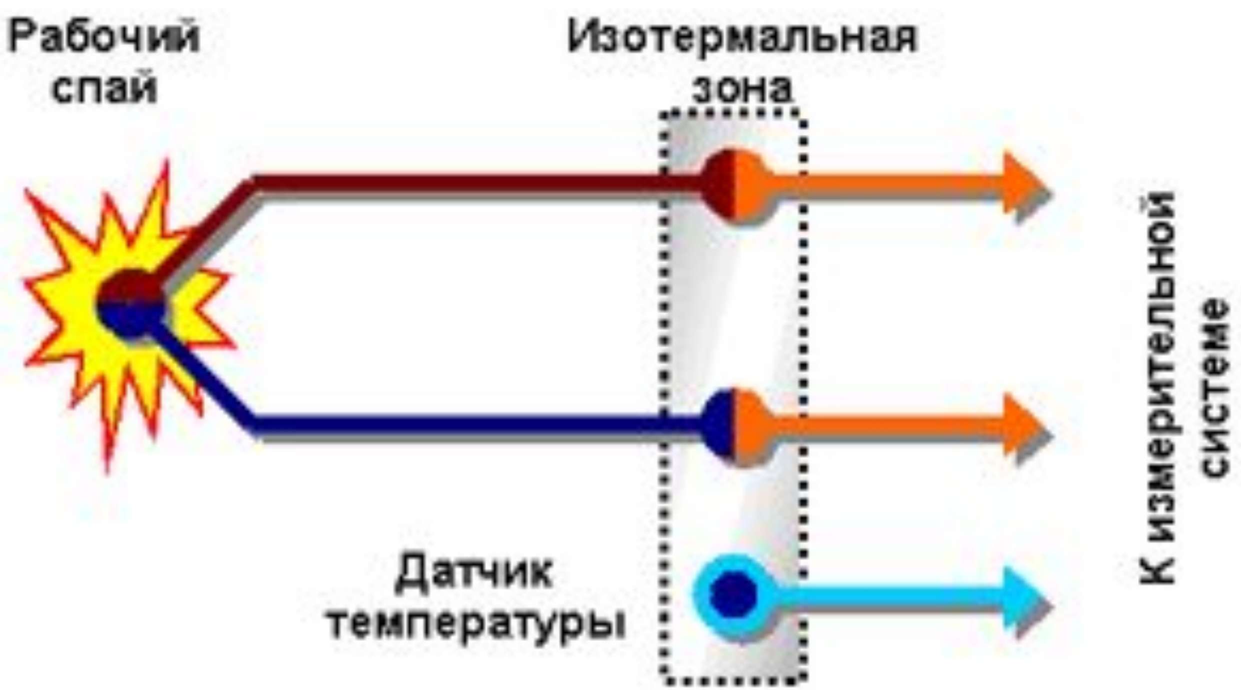


С поступлением возмущений ξ, q, η и v - по двум каналам. Второй с передаточной функцией W организуется для того, чтобы получить компенсационный сигнал



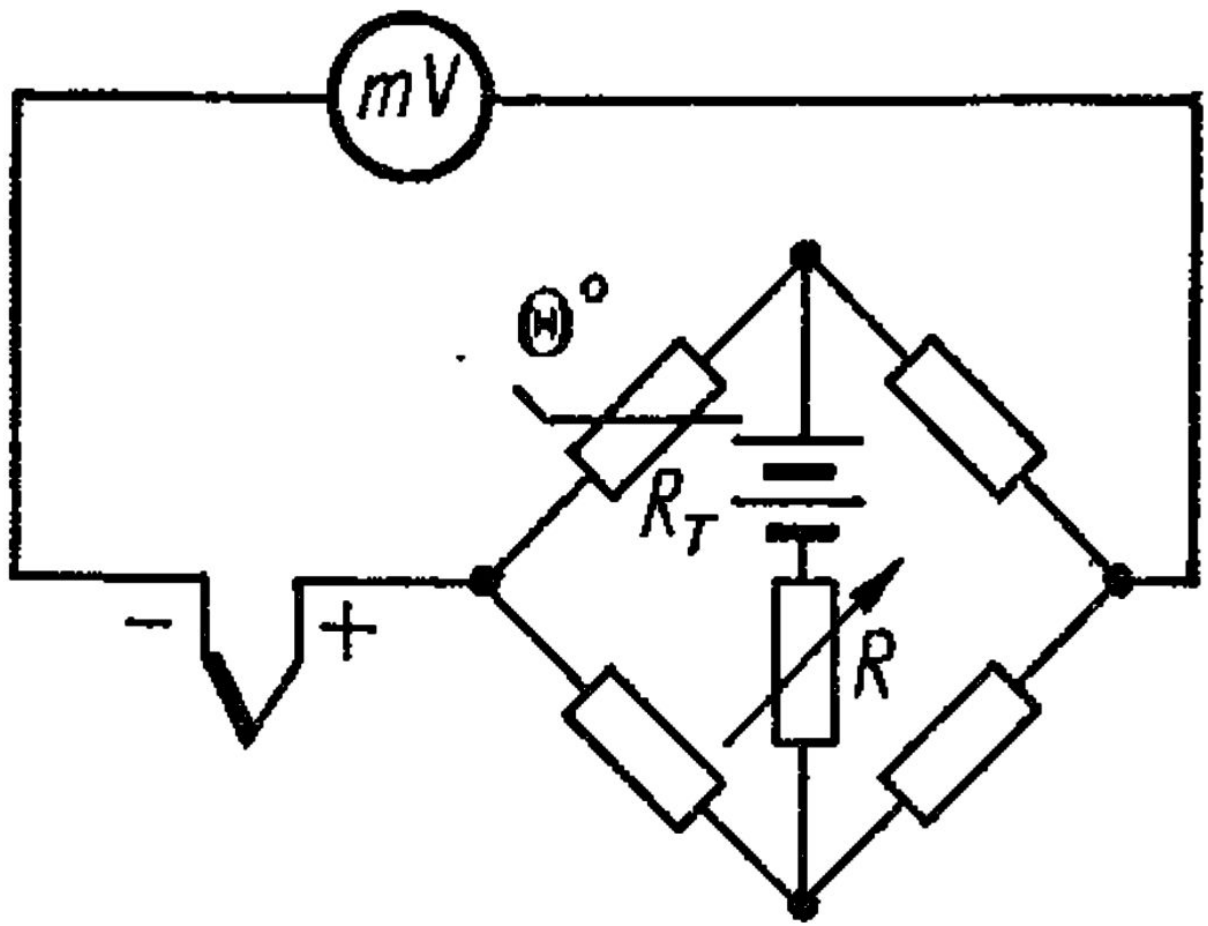
- Схема прибора прямого преобразования, с двумя одинаковых канала S_1 и S_2 через один из которых проходит измеряемый сигнал *x* и возмущающий сигнал ξ, а через второй -— только сигнал ξ. В вычислителе *B* производится операция вычитания ξ и на выходе получается сигнал *y=y(x),* не зависящий от ξ

Компенсация температуры холодного спая

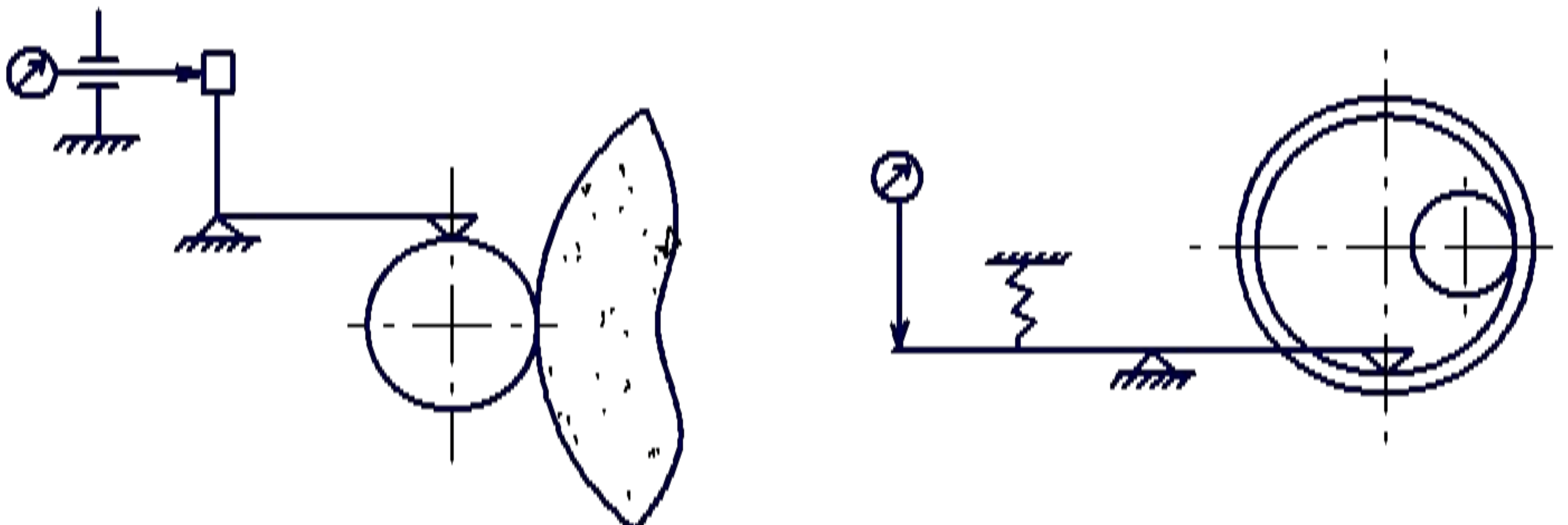


$$\Delta E = k\Delta\vartheta\,[\text{мВ}], \qquad \Delta E = \alpha + b\Delta\vartheta + c\Delta\vartheta^2.$$

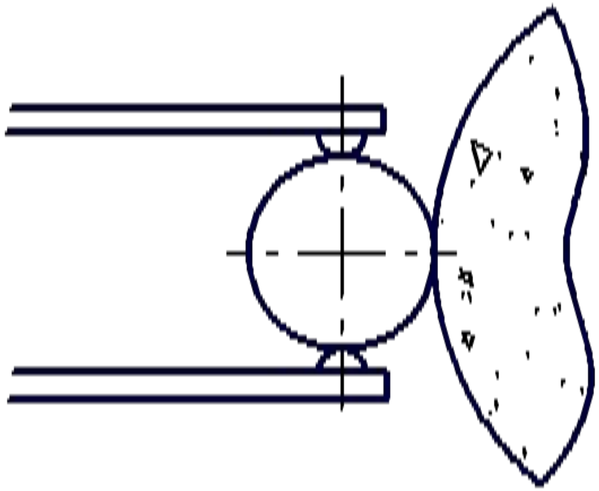
Схема автоматического введения поправки на температуру

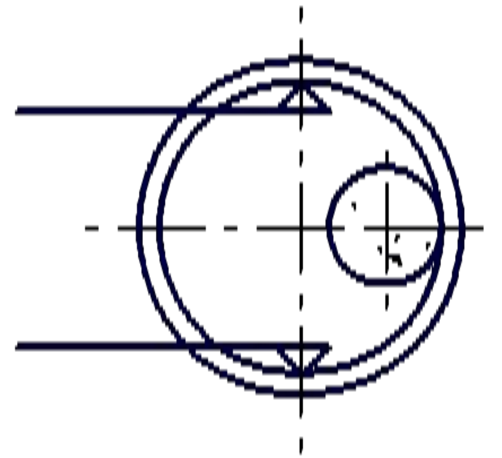


1 - Ï ðèáî ðû, êî í êò àêò èðóþù èå ñ èçì åðÿåì î é ï î â- ò üþ äåò àëè â 1-î é òî ÷êå.

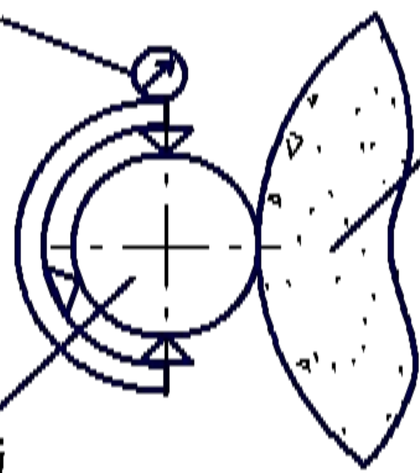


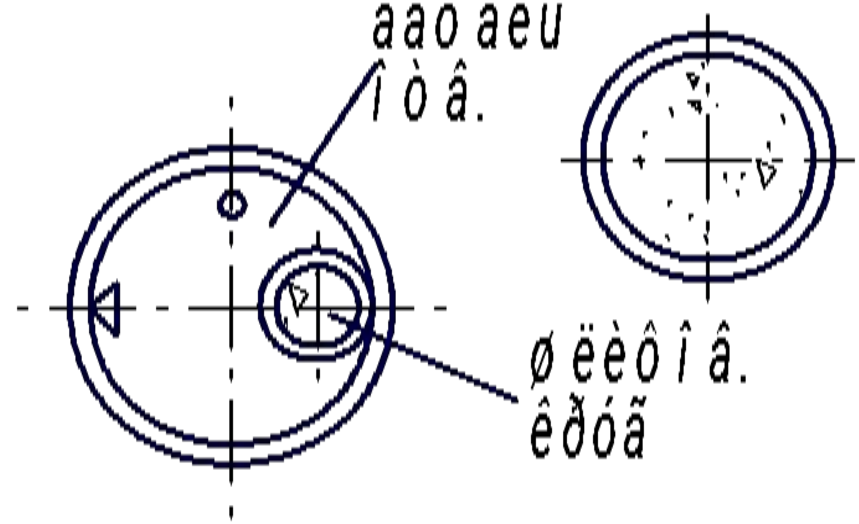
2 - Ï ðèáî ðû, êî í êò àêò èðóþù èå ñ èçì åðÿåì î é ï î â-ò üþ äåò àëè â 2-óõ ò î ÷êàõ.





3 - Ïðèáîðû, êîíòàêòèðóþùèå ñ èçìåðÿåìîé ïîâ-òüþ äåòàëè â 3-¸õ òî÷êàõ.





Алгоритмические методы

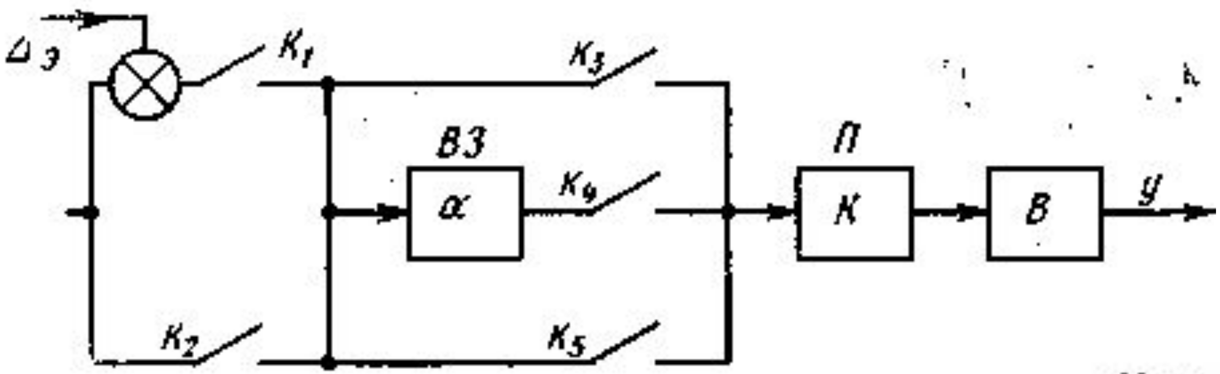
Алгоритмические методы повышения точности сводятся к рациональной обработке сигналов с целью исключения погрешностей.
Наибольшее значение имеют методы:

- эталонных сигналов (в сочетании с переменной структурой),

- методы инвертирования и модуляции сигналов,

- методы обработки сигналов в микропроцессорах и др.

Метод эталонных сигналов



k1, k2, k4

$$y_1 = a_0 + a_1 x,$$

k1, k3

$$y_2 = a_0 + a_1 (x + \Delta_э),$$

k2, k4

$$y_3 = a_0 + a_1 \alpha x$$

$$x = \frac{(y_1 + y_3)\Delta_э}{(1-\alpha)(y_2 - y_1)}$$

k2, k3, k5

$$y_4 = a_0 + \alpha a_1 (x + \Delta_э).$$

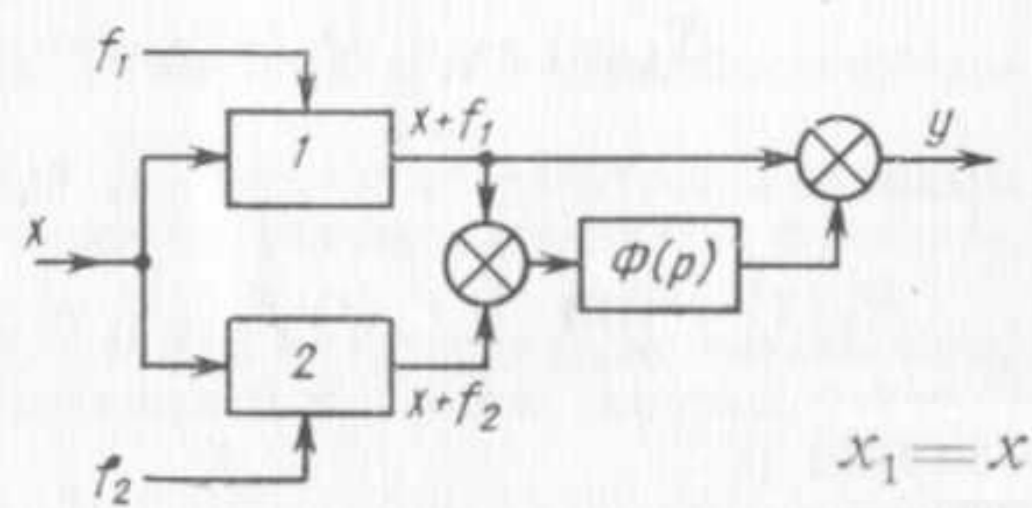
$$x = (y_1 - y_3)\Delta_э / (y_2 - y_1 + y_3 - y_4).$$

- ***Метод инвертирования*** широко используется для устранения ряда постоянных и медленно изменяющихся систематических погрешностей. Этот метод и ряд его разновидностей (метод исключения погрешности по знаку, коммутационного инвертирования, структурной модуляции, двукратных измерений, инвертирования функции преобразования и др.) основаны на выделении алгебраической суммы четного числа сигналов измерительной информации, которые вследствие инвертирования отличаются направлением информативного сигнала, опорного сигнала или знаком погрешности.
- ***Метод модуляции*** - метод близкий к методу инвертирования, в котором производится периодическое инвертирование входного сигнала и подавление помехи, имеющей однонаправленное действие.
- ***Метод исключения погрешности по знаку*** - вариант метода инвертирования, который часто применяется для исключения изввестных по природе погрешностей, источники которых имеют направленное действие, например погрешностей из-за влияния постоянных магнитных полей, ТЭДС и др.

Комплексные методы повышения точности

- Основаны на сочетании структурных и алгоритмических методов, используют информацию об одних и тех же или функционально связанных величинах, полученных с помощью различных приборов, с целью уменьшения погрешностей и повышения надежности.
- Направлений в создании комплексных систем:
  - комплексирование n одинаковых приборов с целью получения среднего по множеству значения измеряемой случайной величины;
  - комплексирование нескольких приборов одного назначения, имеющих различную точность или разные диапазоны измерения
  - комплексирование нескольких приборов одного назначения, отличающихся разными областями применения

Схема комплексирования



$$x_1 = x + f_1;\ x_2 = x + f_2,$$

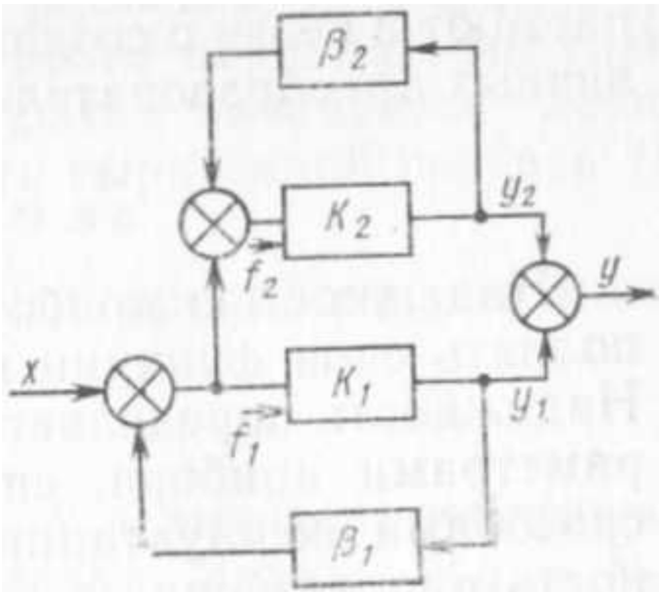
$$y = x + f_1 - \Phi(p)(f_1 - f_2).$$

$$\Phi(p)(f_1 - f_2) \approx f_1. \qquad y \approx x.$$

$$y = x + (1 - \Phi)\, f_1 + \Phi f_2.$$

$$z = (1 - \Phi)\, f_1 + \Phi f_2$$

Нониусный метод повышения точности



прибор состоит из двух или нескольких каналов измерения, один из которых грубый, а другие — точные.

схема двухканальной системы, содержащей два замкнутых контура —основной, грубый и дополнительный, точный

$$y_1 = S_1(x + f_1);\quad y_2 = S_2(S_1 x/K_1 + f_2 - S_1 K_2 f_1),$$

где

$$S_1 = K_1/(1 + \beta_1 K_1);\quad S_2 = K_2/(1 + \beta_2 K_2).$$

$$\varepsilon_1 = x - \beta_1 y_1;\quad \varepsilon_2 = \varepsilon_1 - \beta_2 y_2,$$

$$\varepsilon_1 = S_1 x/K_1 - \beta_1 S_1 f_1,\quad \varepsilon_2 = S_1 S_2 x/K_1 K_2 - S_1 S_2 \beta_1 f_1/K_2 - S_2 \beta_2 f_2.$$

Если применена глубокая обратная связь $\beta_1 K_1 \gg 1$, $\beta_2 K_2 \gg 1$, то

$$\varepsilon_1 = x/\beta_1 K_1 - f_1;\quad \varepsilon_2 = x/\beta_1 \beta_2 K_1 K_2 - f_1/\beta_2 K_2 - f_2.$$