

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН





Содержание курса

- исследование формы напряжения
- измерение интервалов времени и частоты
- методы спектрального, амплитудного и корреляционного анализа сигналов
- методы синхронного детектирования сигналов
- метод совпадений
- детектирование и преобразование оптического излучения
- Автоматизация измерений

Литература (основная)



1. Мирский Г.Я. Электронные измерения. М.: Радио и связь, 1986.
2. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах. М.: Мир, 1983.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000.
4. Л.А. Маталин, Ж. Нараи, С.И. Чубаров Методы регистрации и обработки данных в ядерной физике и технике. М.: Атомиздат, 1968.
5. Рехин И.Е., Чернов П.С., Басиладзе С.Г. Метод совпадений. М.: Атомиздат, 1979.
6. Игнатов А.Н. Оптоэлектронные приборы и устройства. М.: Эко-Трендз, 2006.

Методы измерения и анализа электрических величин.

Лабораторный практикум / Ю.И. Малахов и др. М.: Изд-во МЭИ, 2016 . – 60 с.



- Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Общие характеристики измерительных приборов



Измерительные генераторы

- параметры выходных сигналов
- сопротивления внешних нагрузок
- погрешности

Приборы для измерения параметров сигналов

- диапазон показаний
- диапазон измерений



- предел измерений
- область рабочих частот
- чувствительность
- предельная чувствительность
- разрешающая способность
- время измерения
- скорость измерения (быстродействие)

- входное сопротивление
- входная емкость

- класс точности



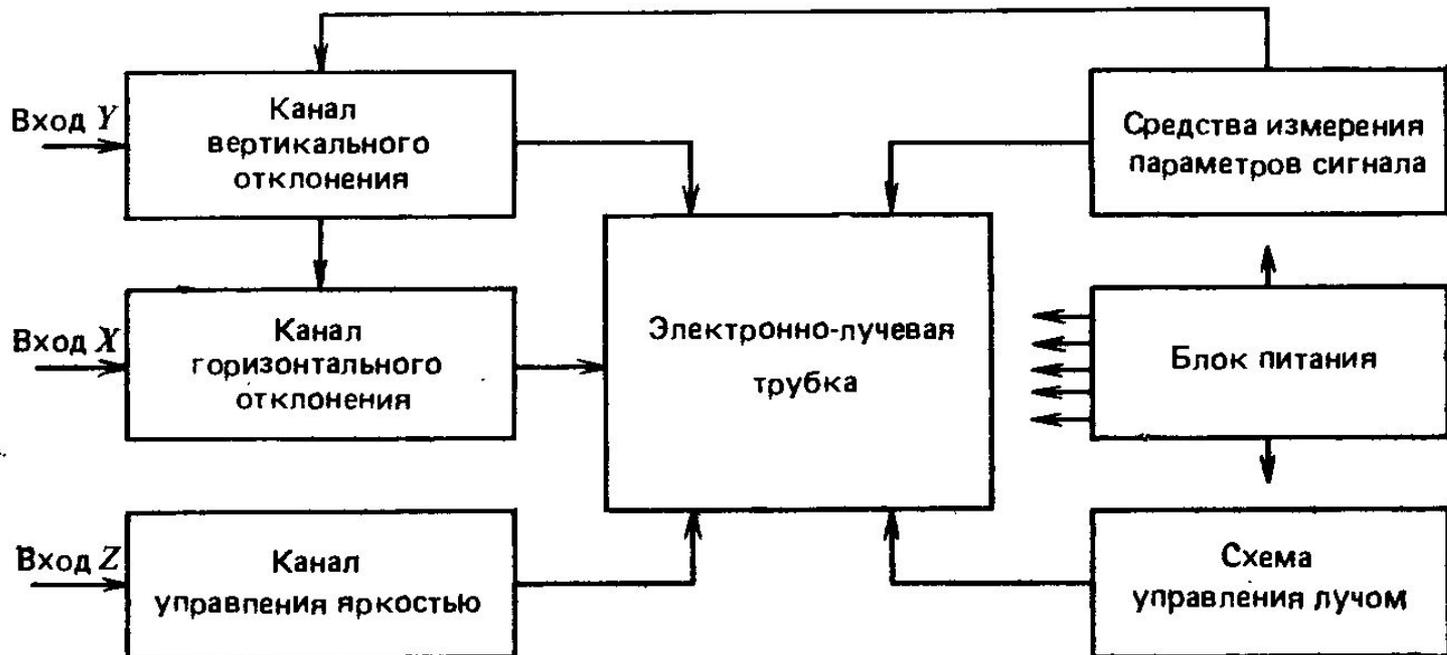
Исследование формы напряжения



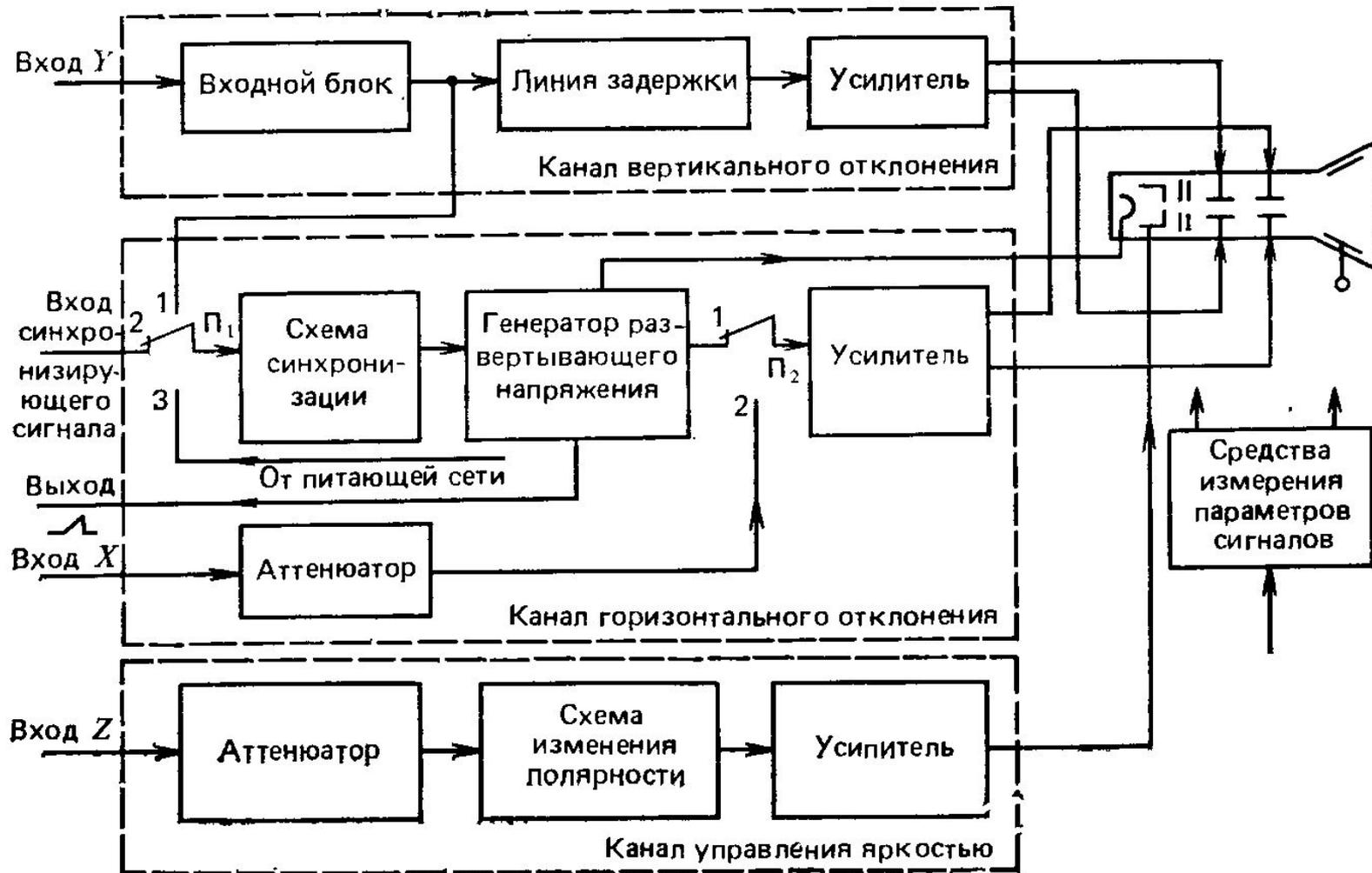
Основные параметры сигнала



Общая структурная схема электронно- лучевого осциллографа



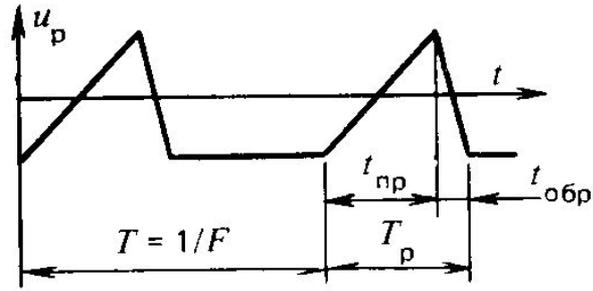
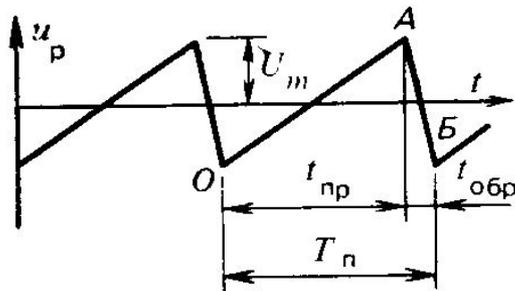
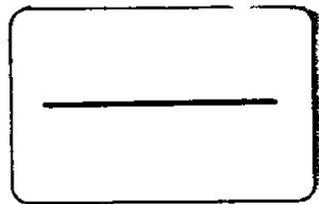
Развернутая структурная схема



Виды осциллографических разверток



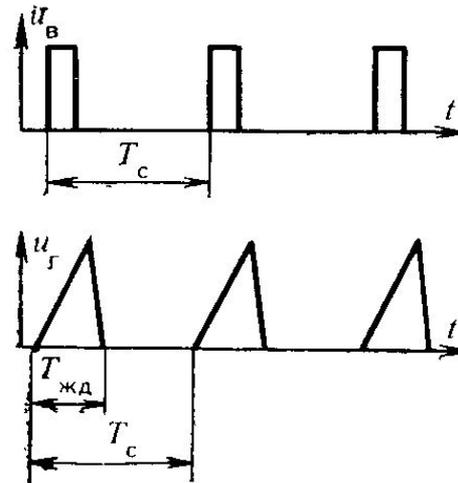
- Определение
- Линейная периодическая



Виды осциллографических разверток



- Линейная ждущая

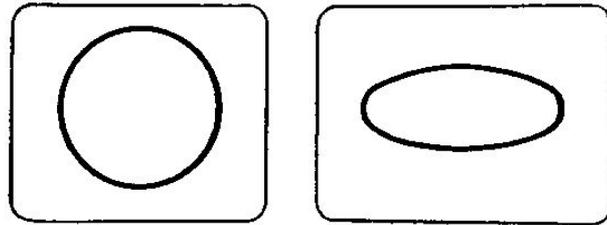


- Синусоидальная развертка

Виды осциллографических разверток



- Эллиптическая (круговая) развертка



- Спиральная развертка

Основные каналы осциллографа

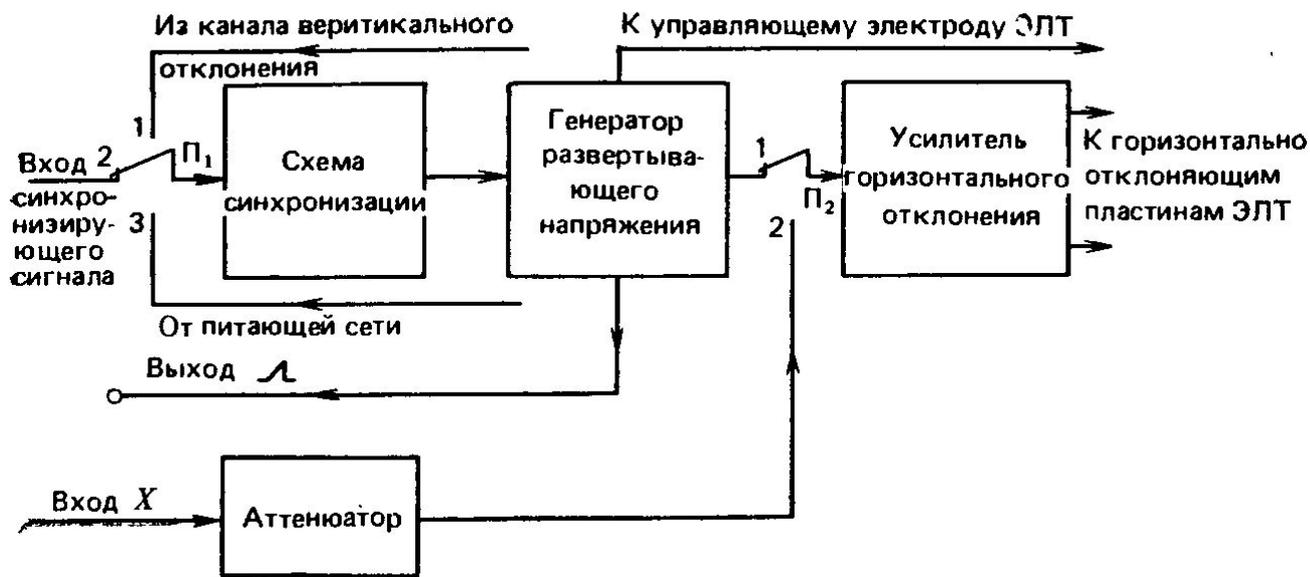


- Канал вертикального отклонения
 - а) чувствительность
 - б) полоса пропускания
 - в) входное активное сопротивление

Основные каналы осциллографа



- Канал горизонтального отклонения



Генератор развертывающего напряжения

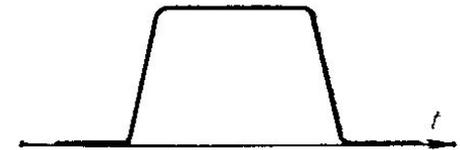
«Электронная лупа»



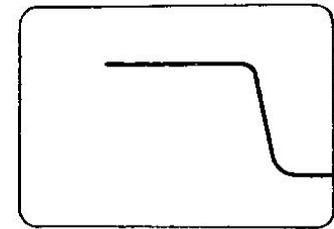
Синхронизация развертки

- Синхронизация ждущей развертки

Включение линии задержки в канал вертикального отклонения



а)

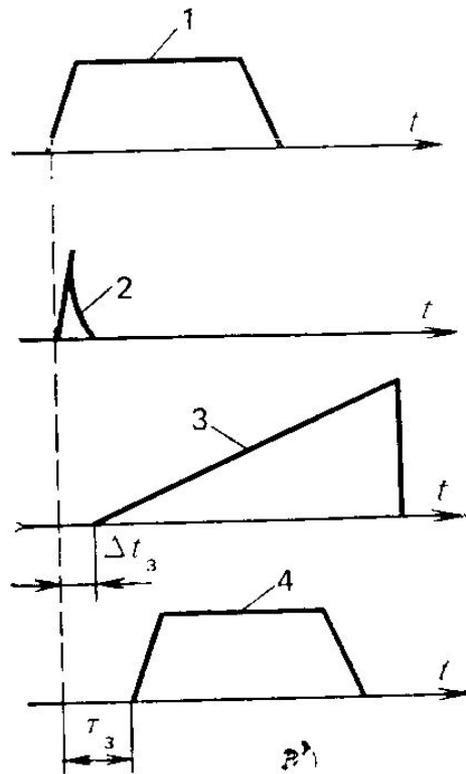


б)

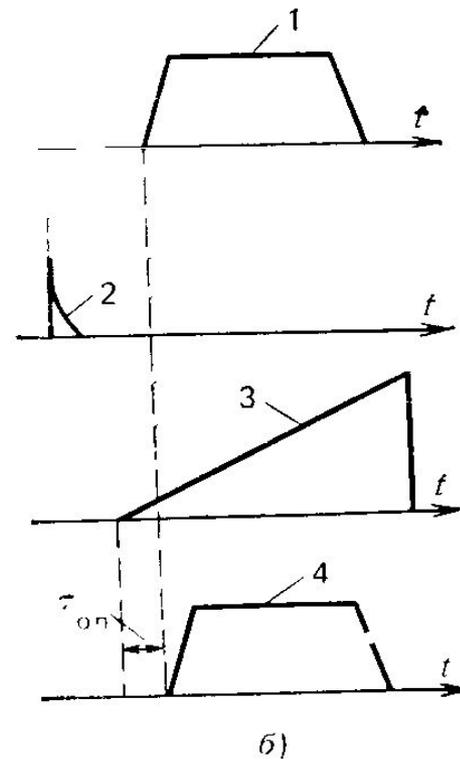
Синхронизация развертки

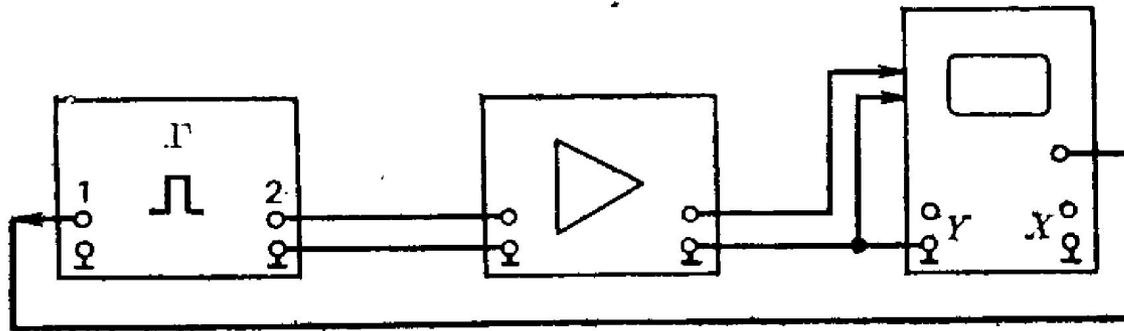


Внутренняя



Внешняя





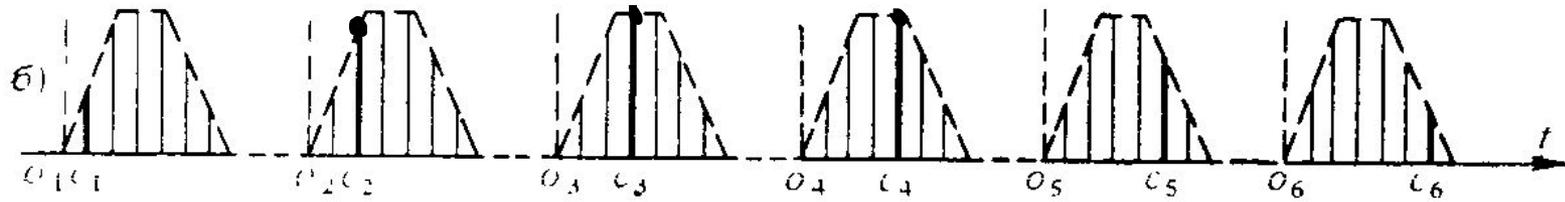
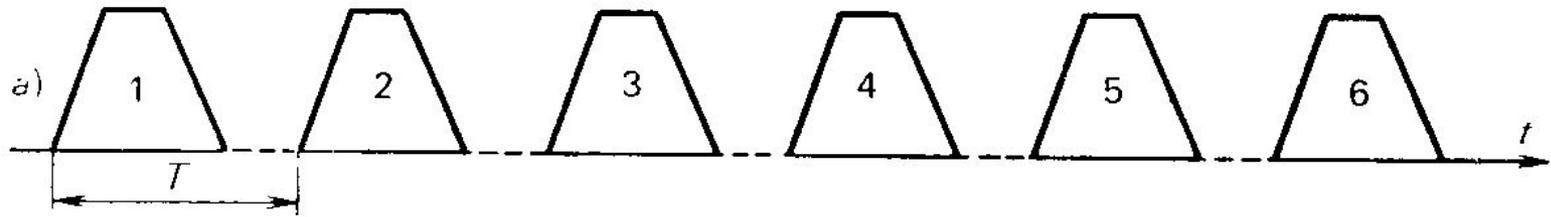
Двухканальные и двухлучевые осциллографы



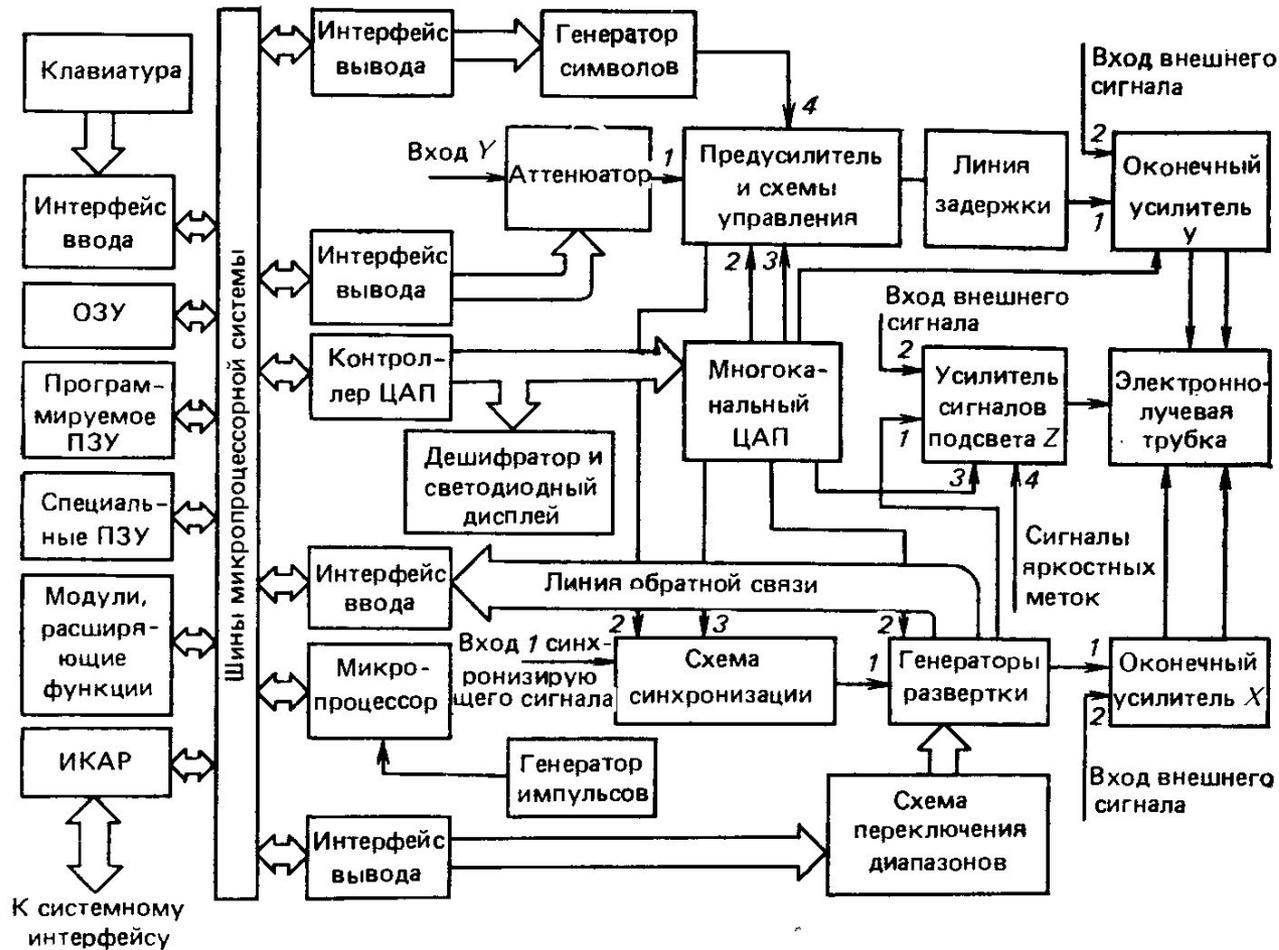
Стробоскопические осциллографы

$$T + \Delta T$$

$$m = \frac{T}{\Delta T}$$



Программно-управляемый цифровой осциллограф



Осциллограф с цифровым управлением



Рекомендации по выбору осциллографа

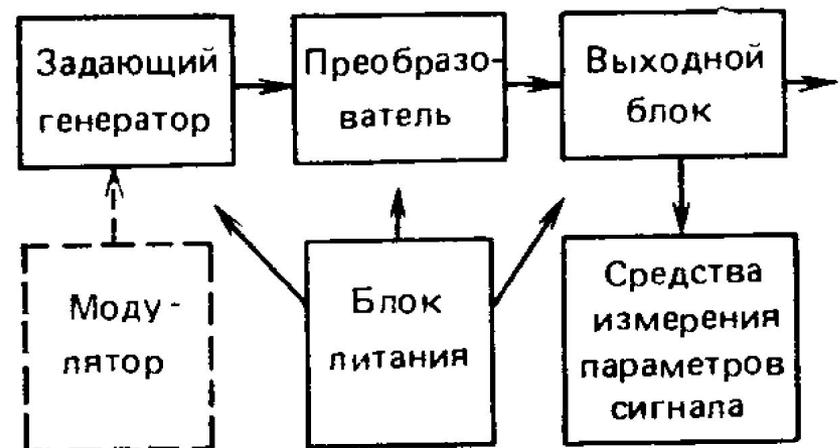


Измерительные генераторы сигналов

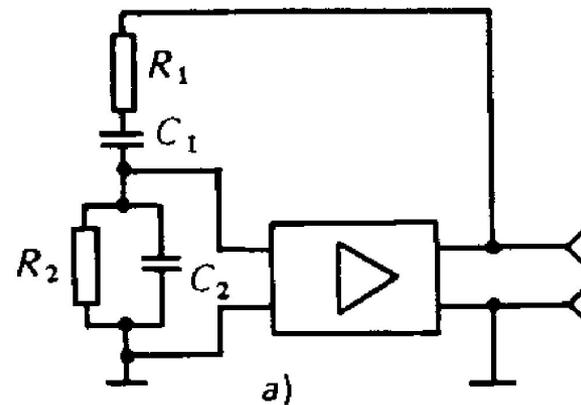


Классификация

- диапазон частот,
- вид модуляции,
- основная погрешность.



Аналоговые низкочастотные генераторы



Аналоговые инфранизкочастотные генераторы

0,001...20 Гц

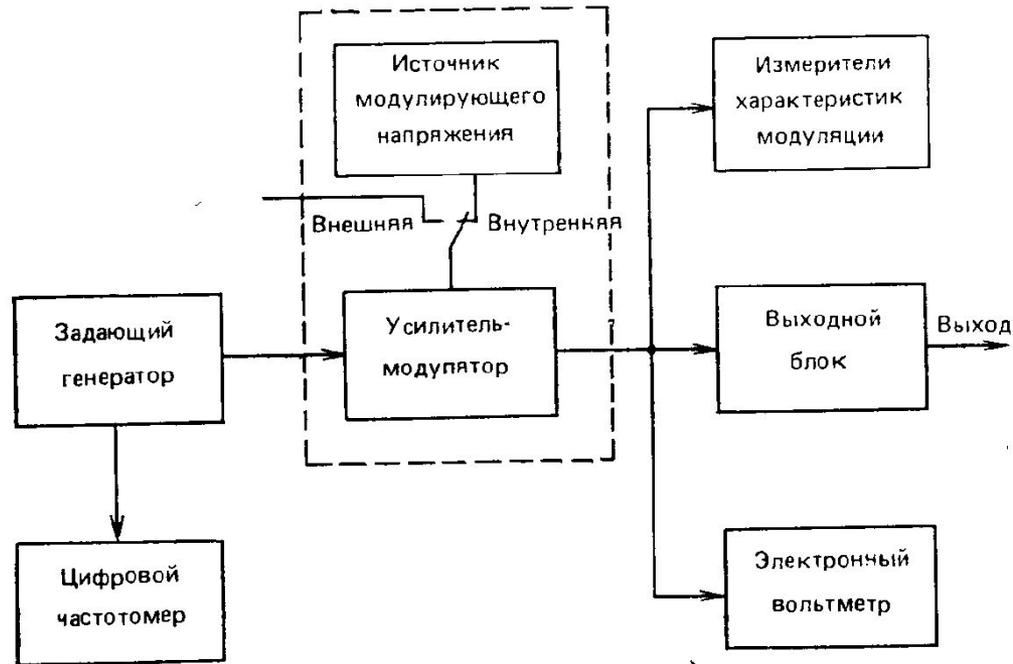
$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$$



Аналоговые высокочастотные генераторы

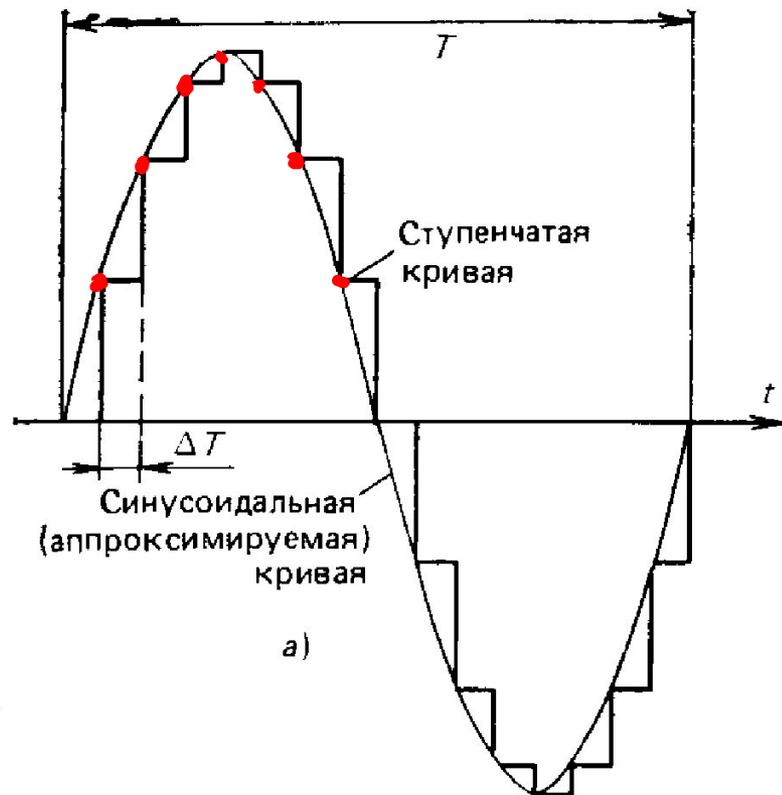


- Генераторы радиочастотного диапазона



- СВЧ генераторы

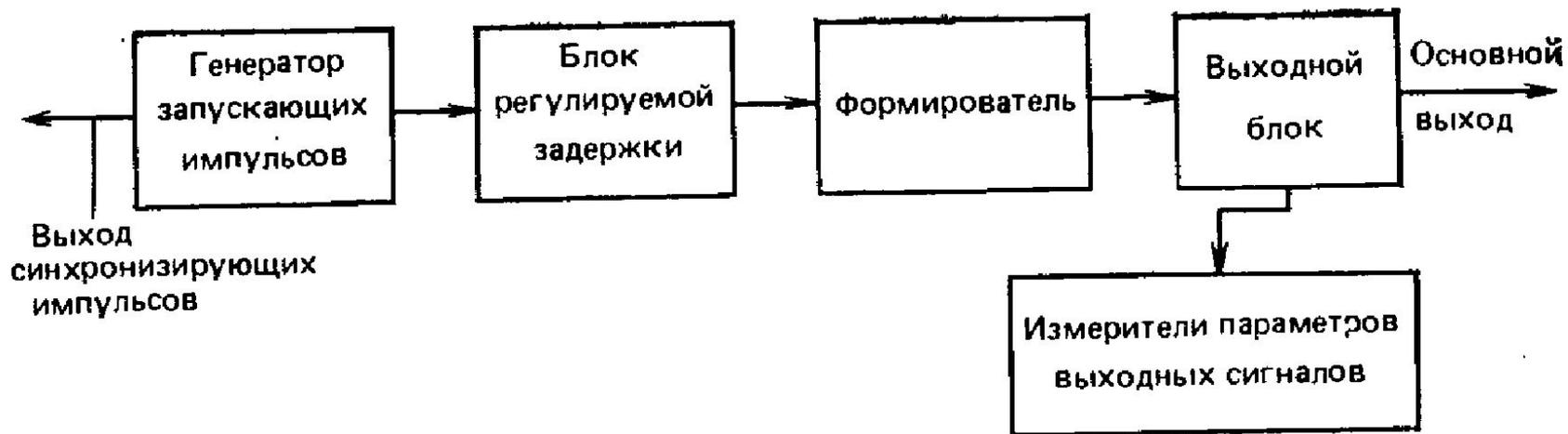
Цифровые генераторы



$$\Delta T = qT_1$$



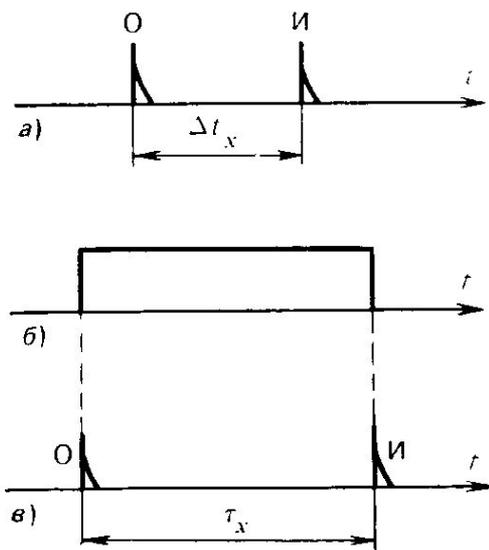
Генераторы импульсных сигналов



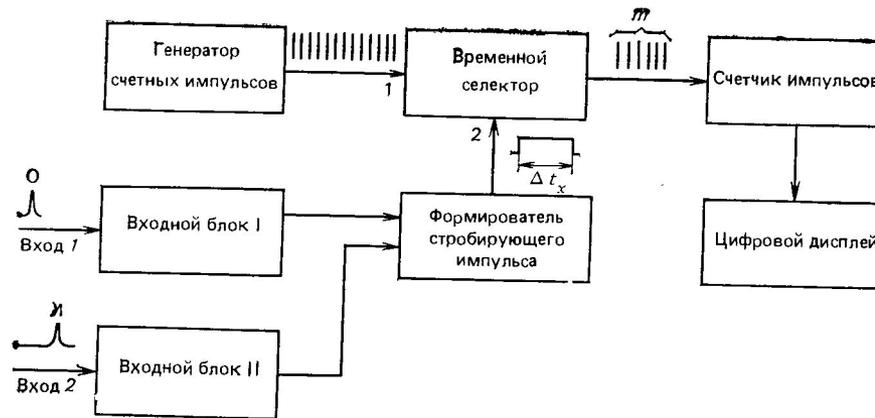
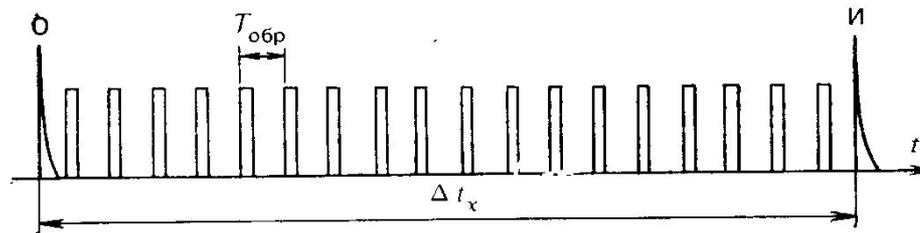
Генератор периодической последовательности прямоугольных импульсов



Измерение интервалов времени, частоты, фазовых сдвигов

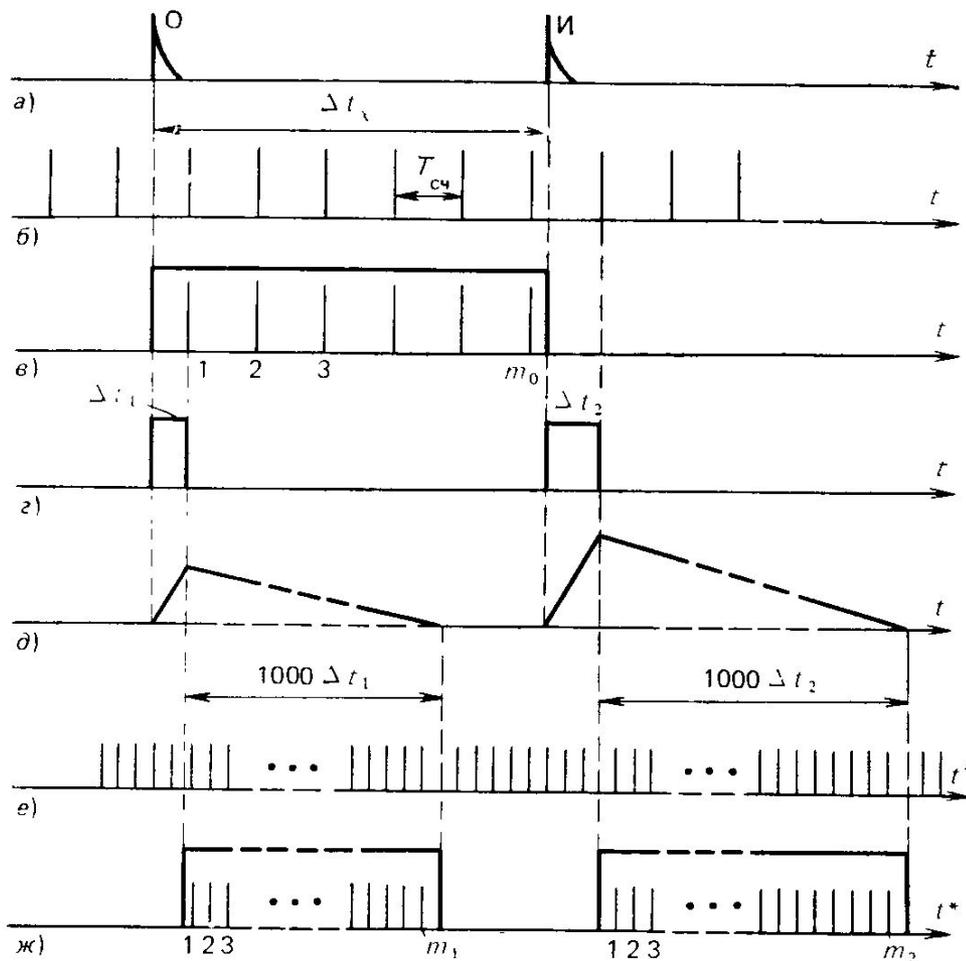


Измерение интервалов времени методом дискретного счета



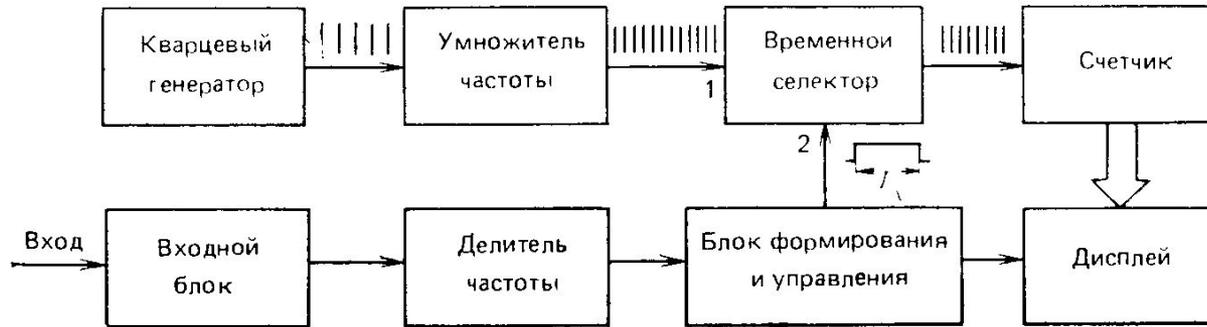


Уменьшение погрешности дискретности

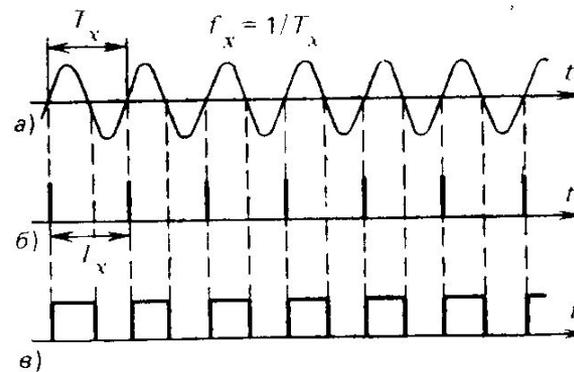
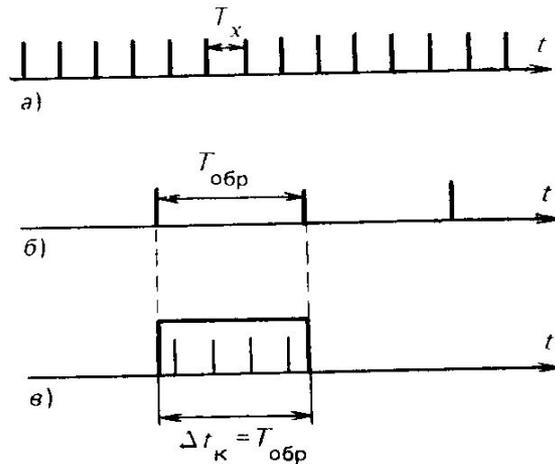




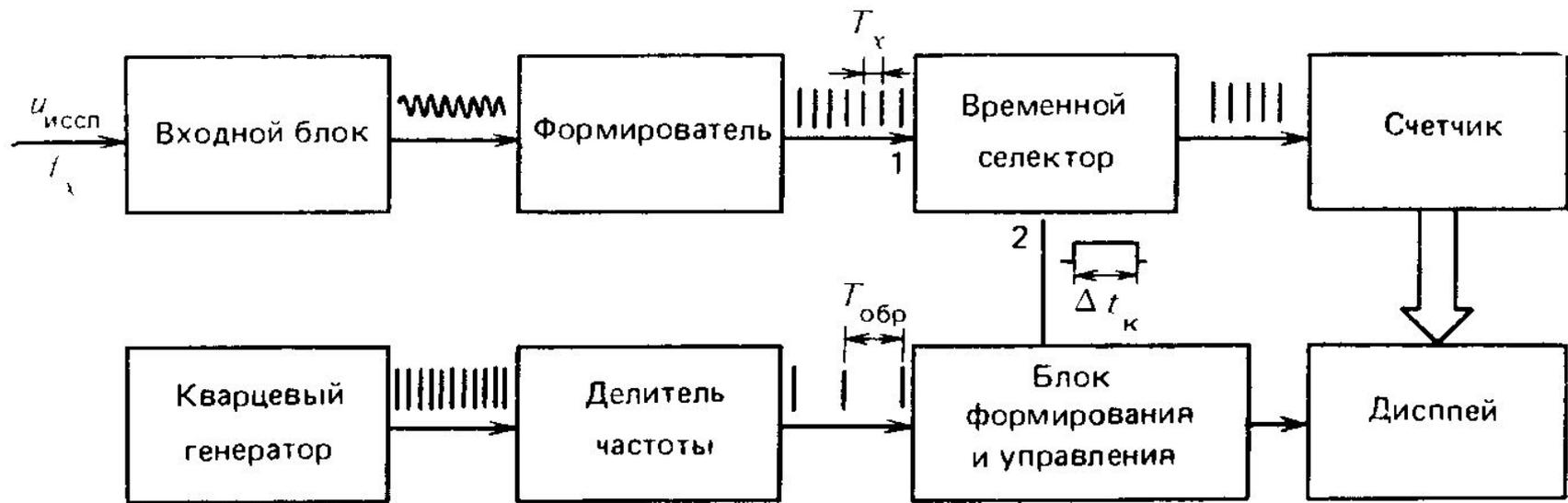
Измерение периода периодического сигнала



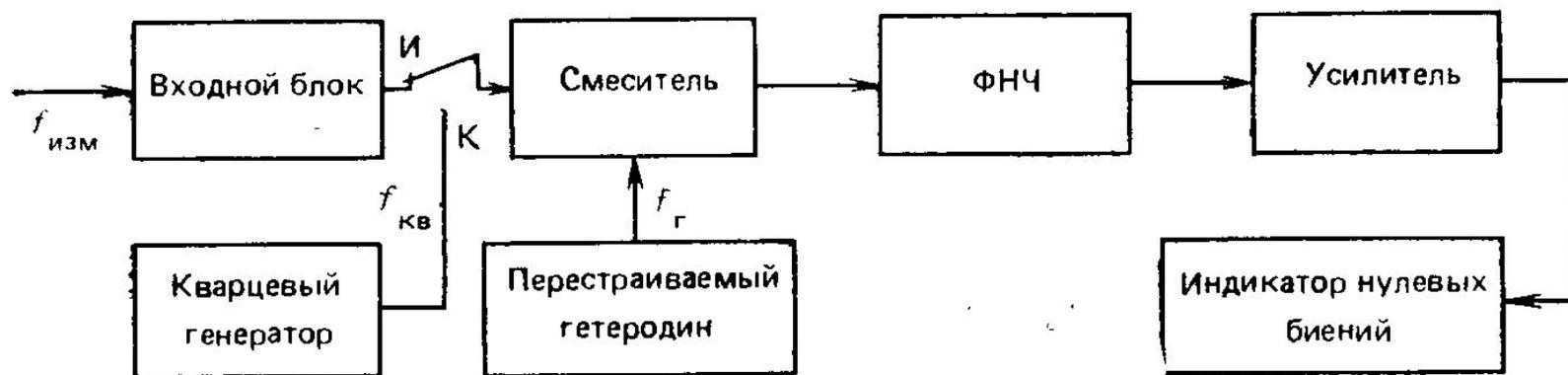
Измерение частоты



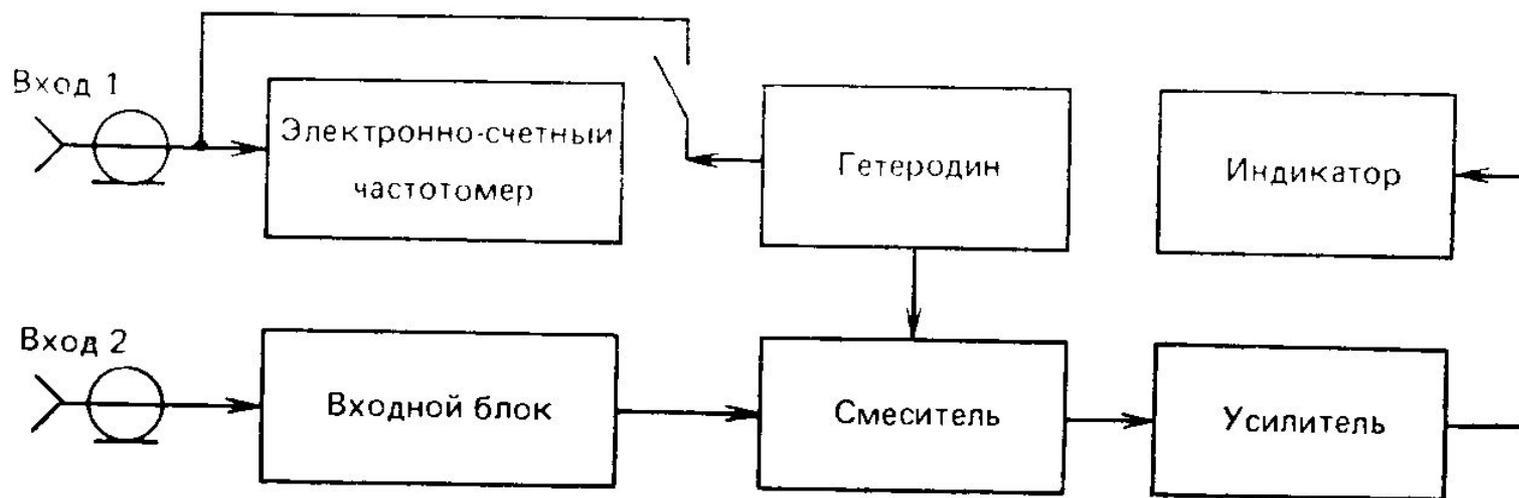
Структурная схема частотомера



Гетеродинный метод измерения частоты



Сочетание цифрового частотомера и гетеродинного преобразователя

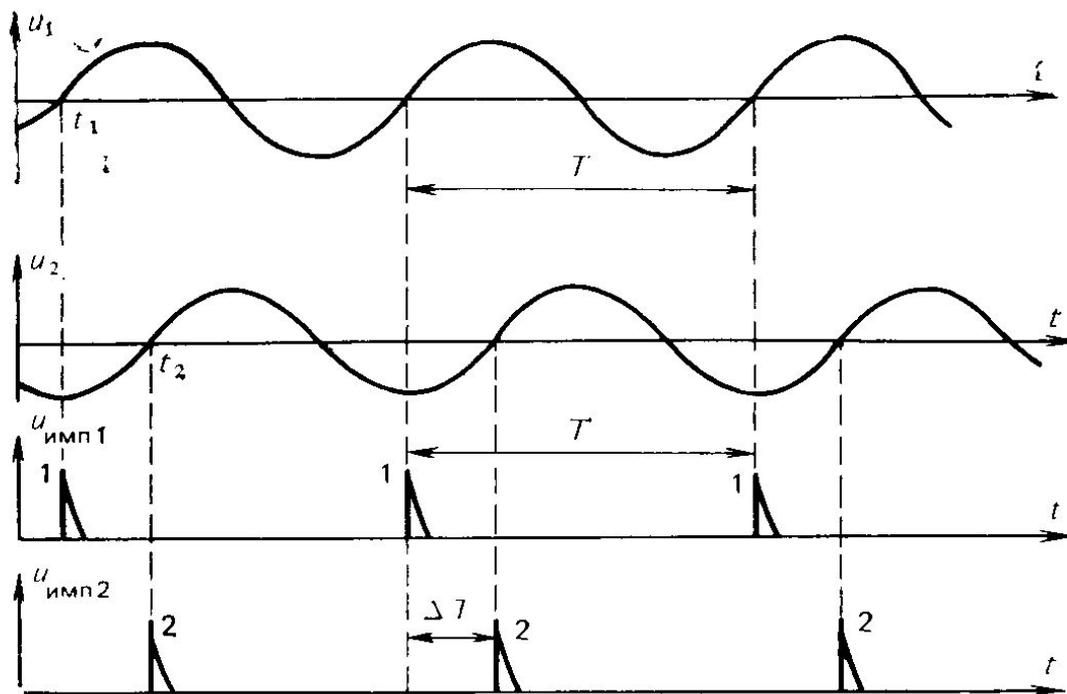


Методы сравнения с частотой другого источника посредством осциллографа

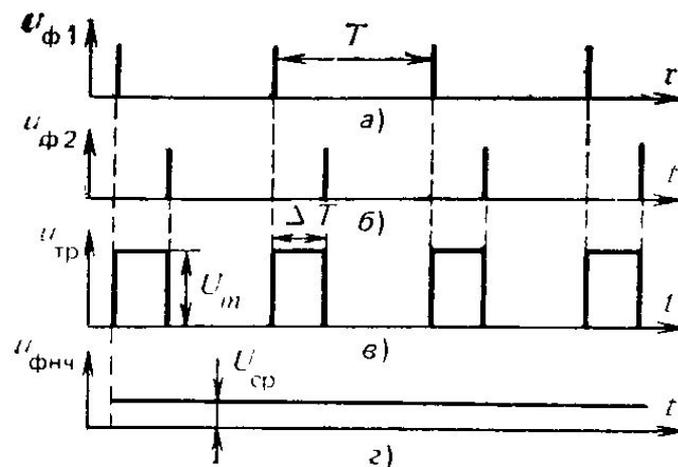
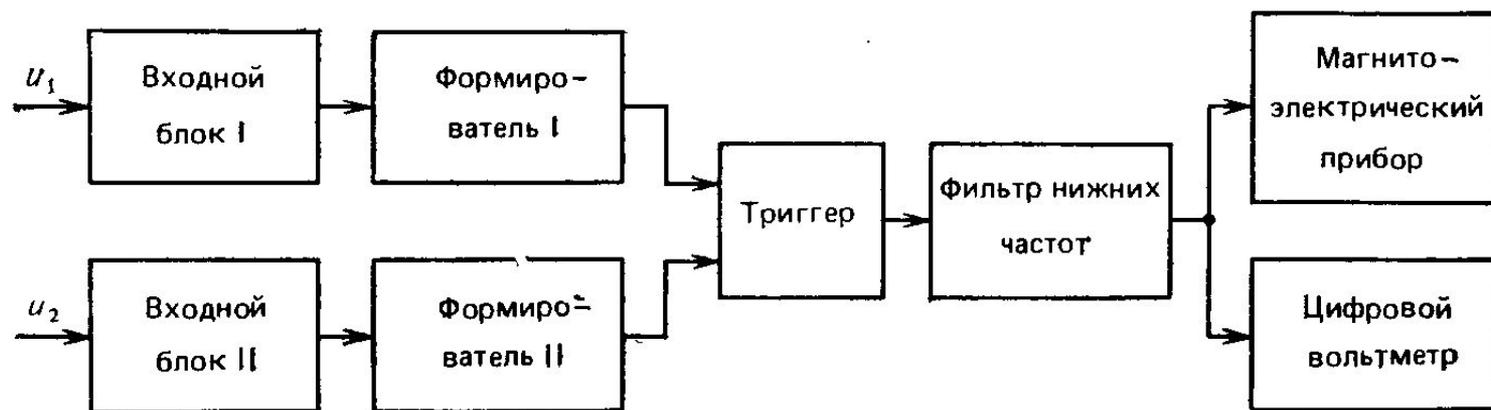


f_X/f_Y	0°	45°	90°	135°	180°
$\frac{1}{1}$					
$\frac{1}{2}$					
$\frac{1}{3}$					
$\frac{2}{3}$					

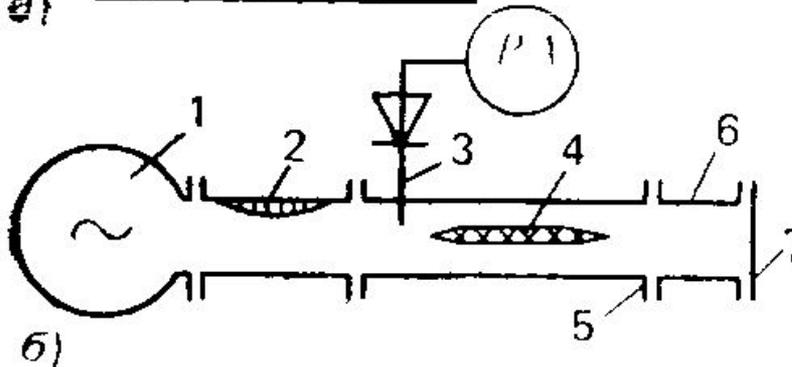
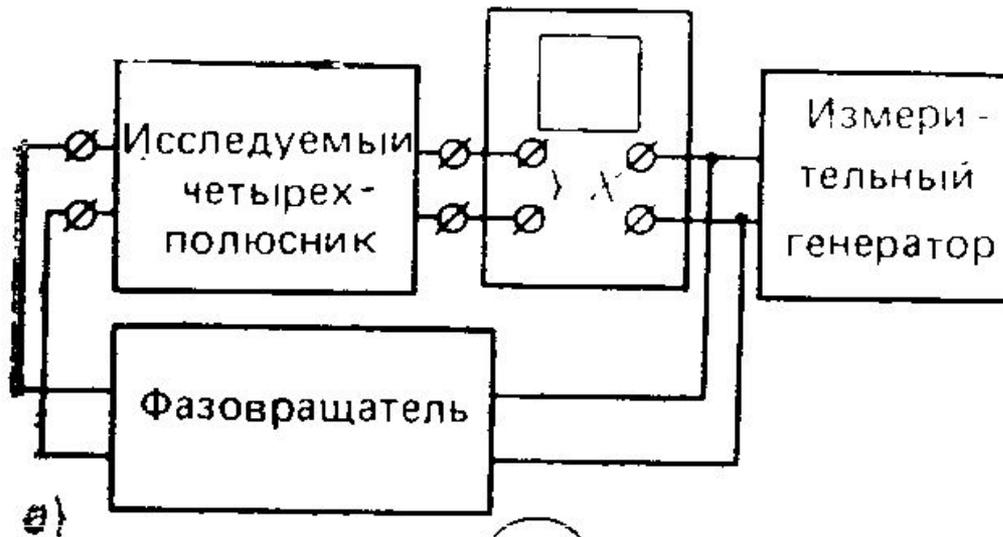
Измерение фазового сдвига



Измерение фазового сдвига



Нулевой метод

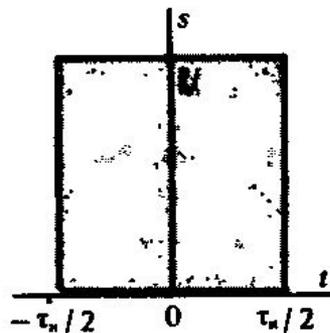


Спектральные представления сигналов

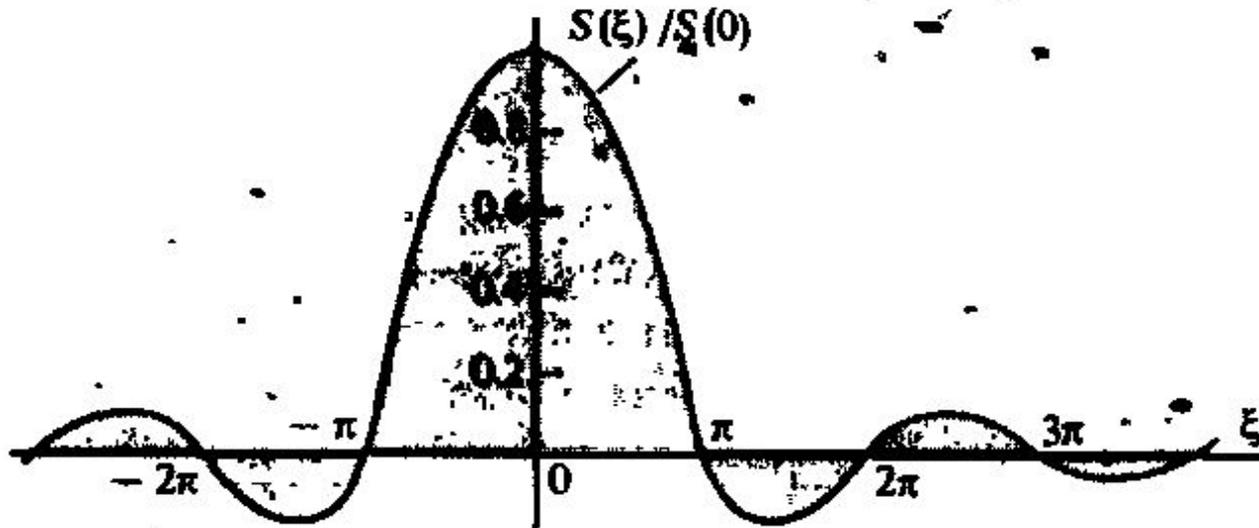


- Периодические сигналы и ряды Фурье
 - Комплексная форма ряда Фурье
- Спектральный анализ непериодических сигналов
 - Преобразование Фурье. Спектральная плотность сигнала

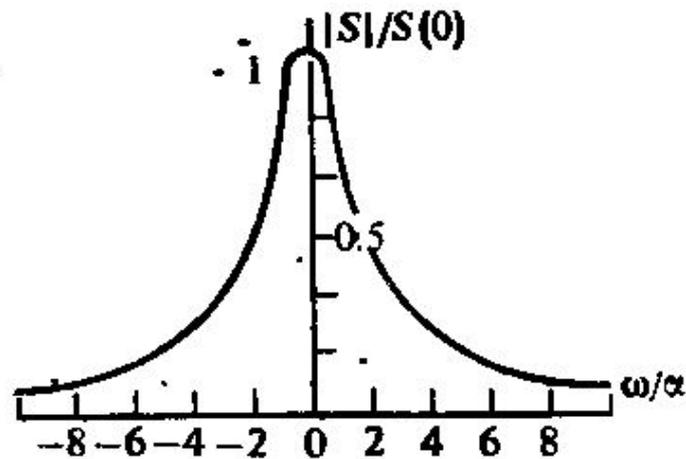
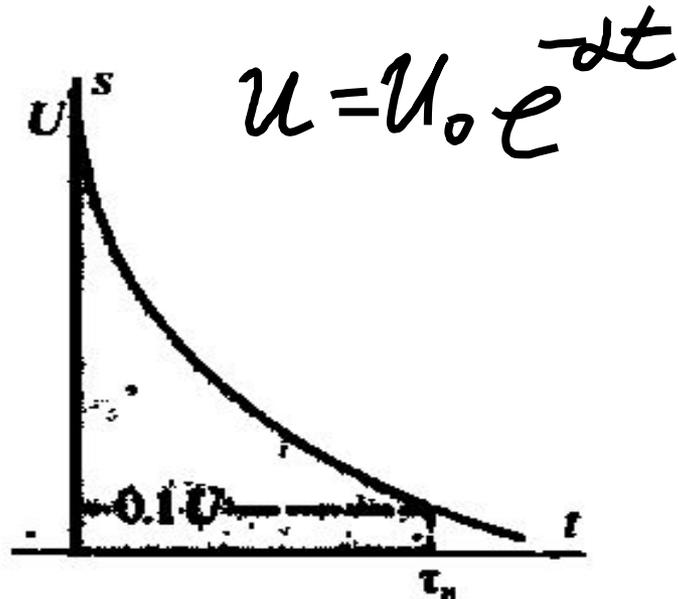
Спектральная плотность прямоугольного импульса (видеоимпульса)



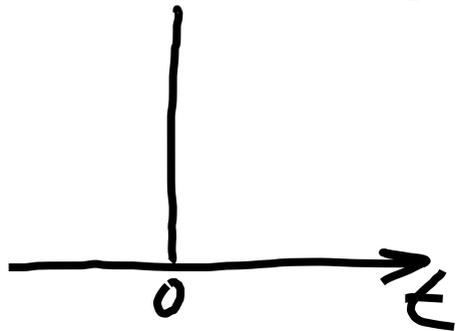
$$\xi = \frac{\omega \tau_n}{2}$$



Спектральная плотность экспоненциального импульса

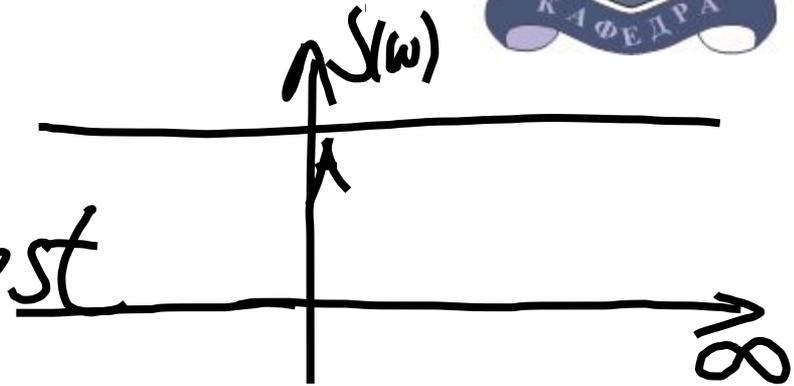


Спектральная плотность дельта-функции



$$S(t) = A \delta(t)$$

$$S(\omega) = A = \text{const}$$



Связь между длительностью импульса и шириной его спектра

$$\Delta \omega \tau_u = O(1)$$

Основные свойства преобразования Фурье



Энергетические спектры сигналов

Обобщенная формула Рэлея

Взаимная спектральная плотность
сигналов



Принципы корреляционного анализа сигналов



- Сравнение сигналов, сдвинутых во времени



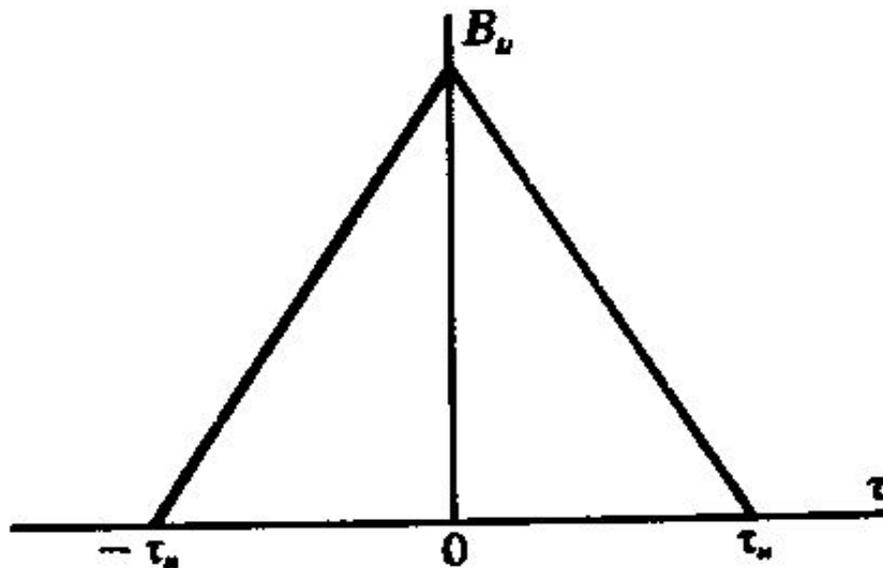
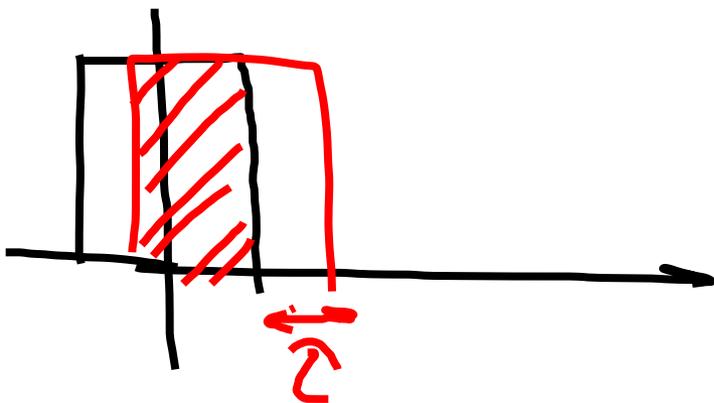
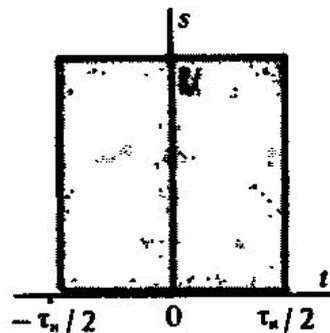
Рис. 3.3. Устройство для измерения времени задержки сигналов

Автокорреляционная функция сигнала

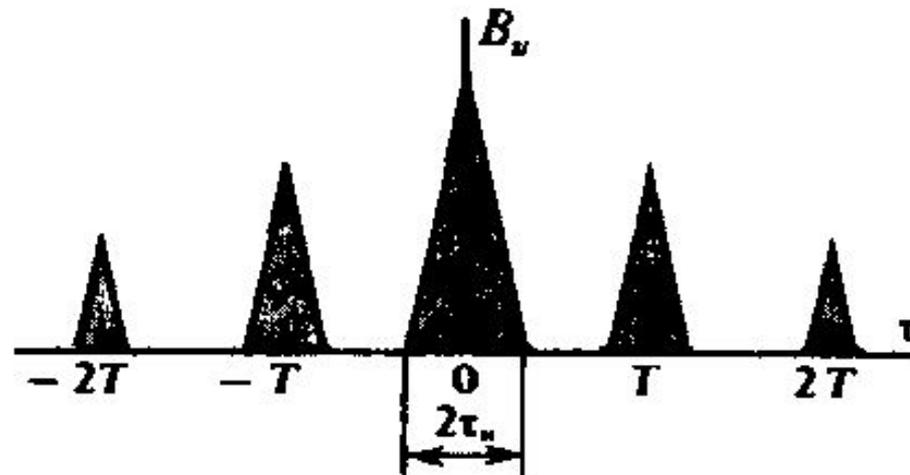


- Свойства АКФ

АКФ прямоугольного импульса



АКФ последовательности прямоугольных импульсов



Связь между энергетическим спектром сигнала и его автокорреляционной функцией



Взаимокорреляционная функция двух сигналов





Метод совпадений

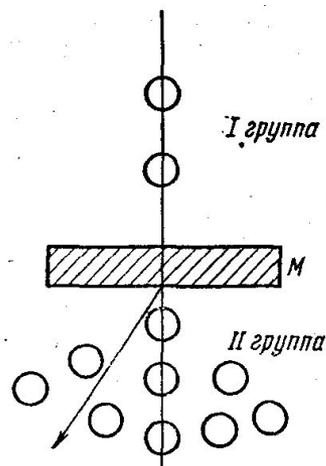
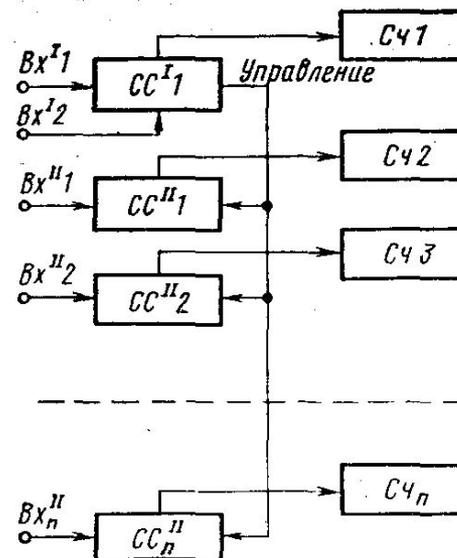
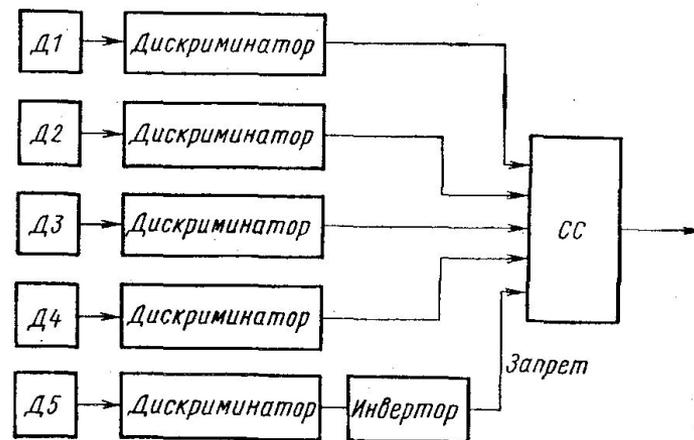
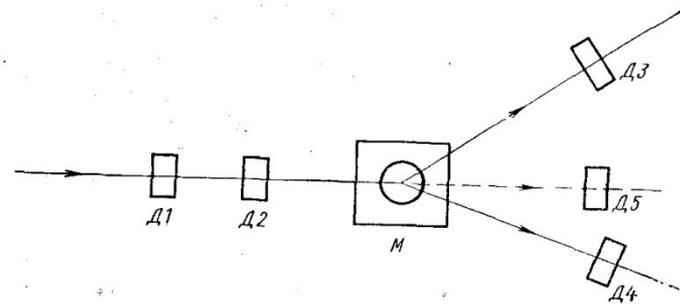


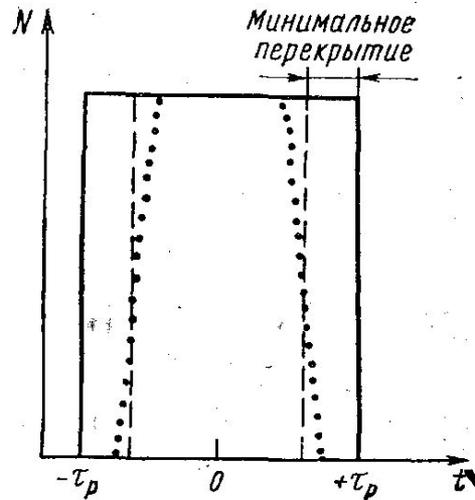
Схема расположения детекторов в годоскопе



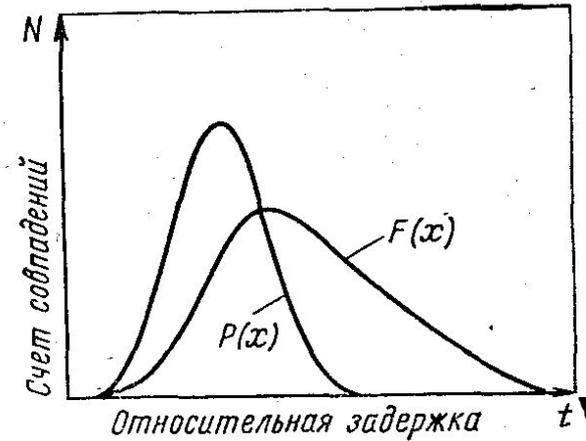
Структура годоскопа



Упрощенная схема и электронное обеспечение эксперимента в физике высоких энергий

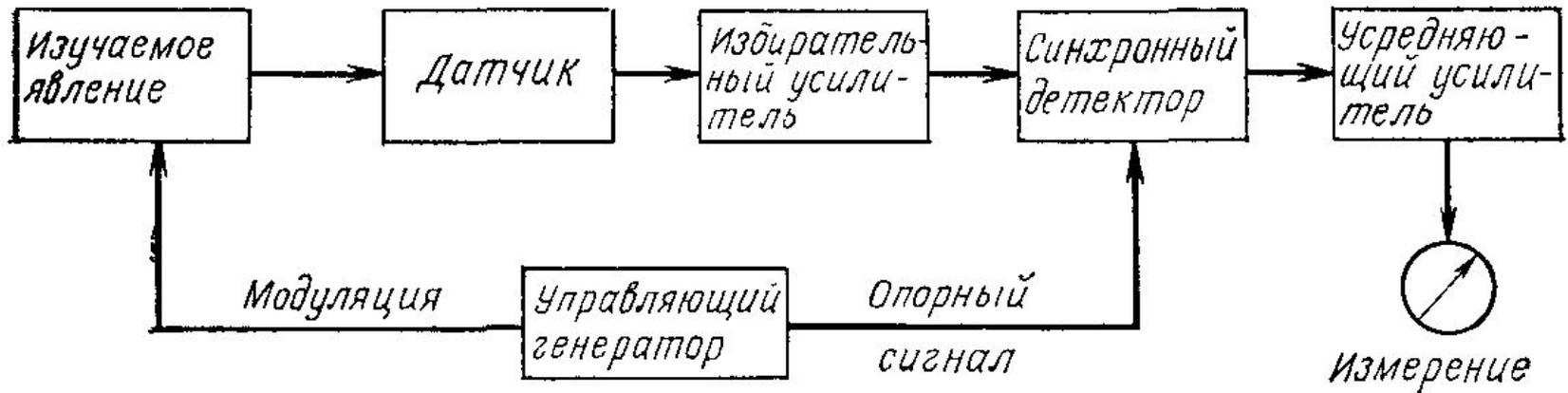


Идеальная кривая
мгновенных совпадений



Реальные кривые
мгновенных $P(x)$ и
задержанных $F(x)$
совпадений

Метод синхронного детектирования



$$\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) = \frac{1}{2}(\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta))$$

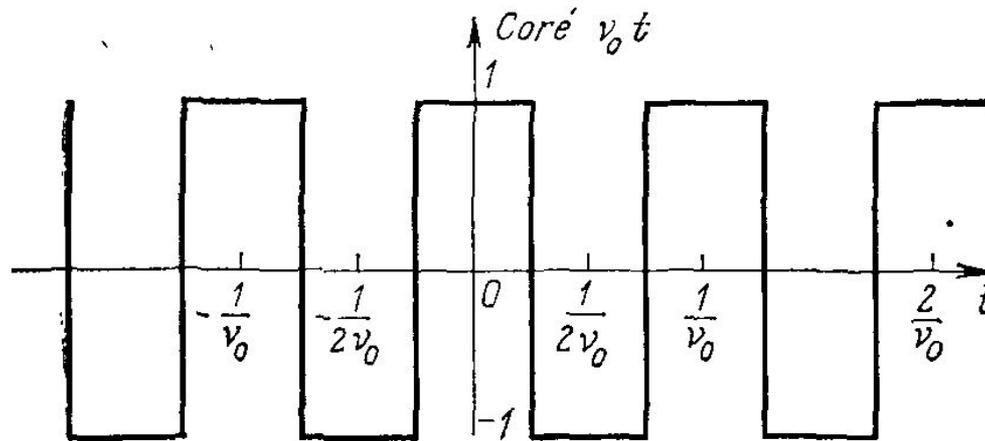


$$\begin{aligned} & \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cos 2\pi\nu_0 t \cos(2\pi\nu_0 t - \varphi) dt = \\ & = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T s(t) \cos 2\pi\nu_0 t \cos(2\pi\nu_0 t - \varphi) dt + \\ & \quad + \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T b(t) \cos 2\pi\nu_0 t \cos(2\pi\nu_0 t - \varphi) dt = \\ & = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_0^T s(t) [\cos \varphi + \cos(4\pi\nu_0 t - \varphi)] dt + \\ & \quad + \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_0^T b(t) [\cos \varphi + \cos(4\pi\nu_0 t - \varphi)] dt, \end{aligned}$$



$$\lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{2T} \int_0^T s(t) \cos \varphi dt + \frac{1}{2T} \int_0^T s(t) \cos (4\pi\nu_0 t - \varphi) dt + \right. \\ \left. + \frac{1}{2T} \int_0^T b(t) \cos \varphi dt + \frac{1}{2T} \int_0^T b(t) \cos (4\pi\nu_0 t - \varphi) dt \right].$$

Метод модуляции дрейфа



$$\cos \epsilon \nu_0 t = \frac{4}{\pi} \left[\cos 2\pi \nu_0 t + \frac{(-1)}{3} \cos 6\pi \nu_0 t + \dots + \right. \\ \left. + \frac{(-1)^n}{2n+1} \cos 2\pi (2n+1) \nu_0 t + \dots \right],$$



Усиление синхронного детектора

$$R_e' = a^2 / \sigma^2 (\Delta F / B).$$

$$R_s = 2BT R_e.$$

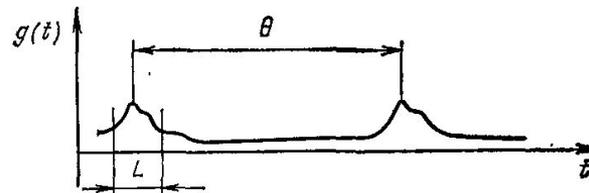
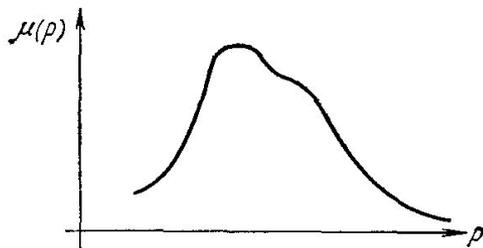
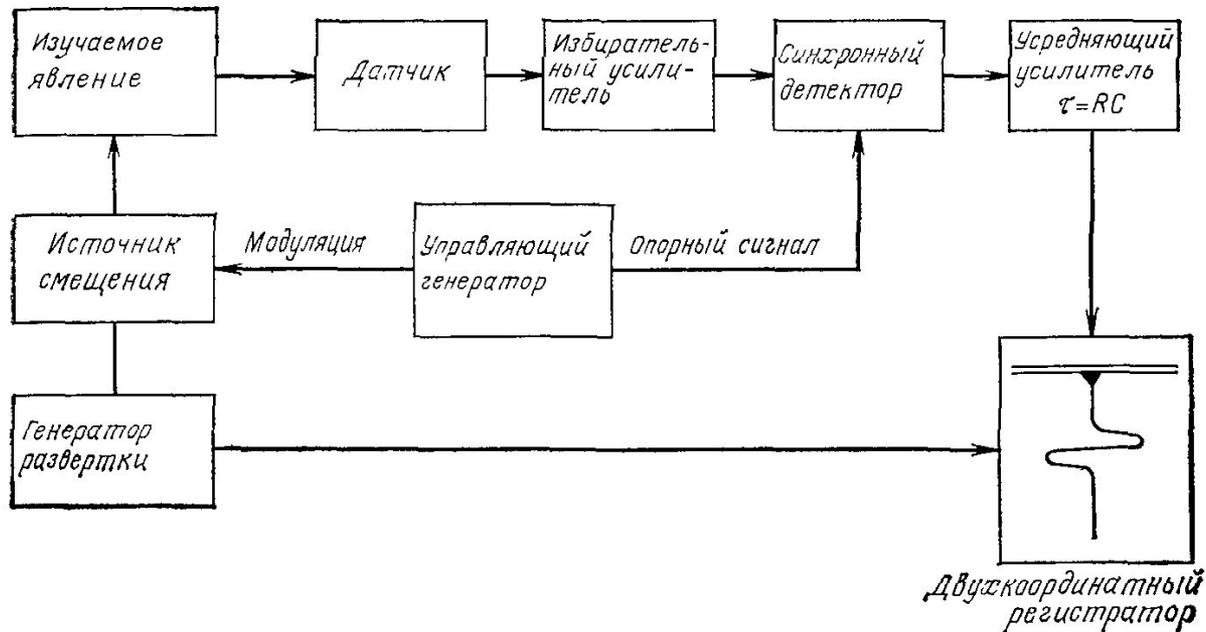
Влияние длительности интегрирования на выходной сигнал

$$\frac{\sin 2\pi\Delta BT}{2\pi\Delta BT} \geq 1 - 0,01$$

Компромисс между чувствительностью и точностью



Синхронное детектирование в режиме развертки





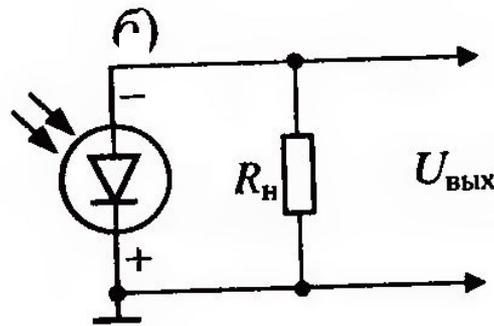
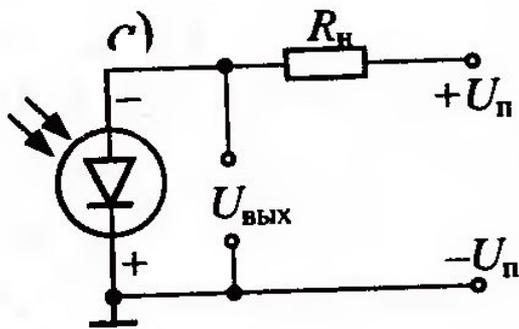
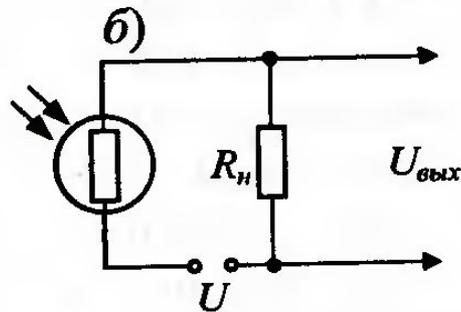
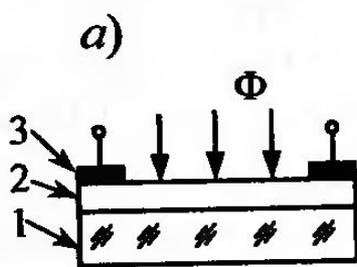
$$y(p_0 + \Delta p) = y(p_0) + \Delta p \left. \frac{dy}{dp} \right|_{p=p_0}.$$

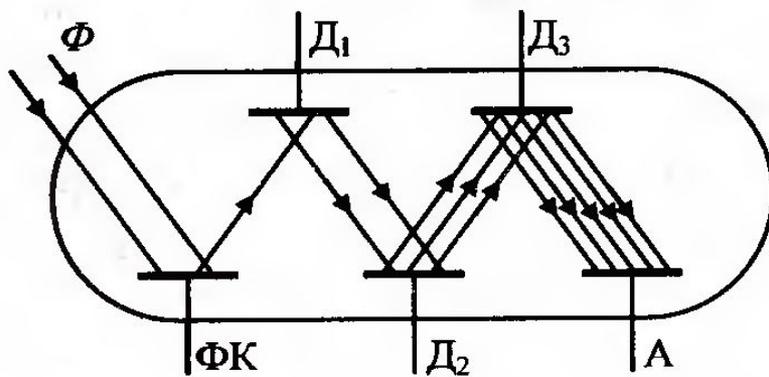
$$y(vt_0 + \beta \cos 2\pi\nu_0 t) = y(vt_0) + \beta \left(\left. \frac{dy}{dp} \right|_{p=p_0} \right) \cos 2\pi\nu_0 t.$$

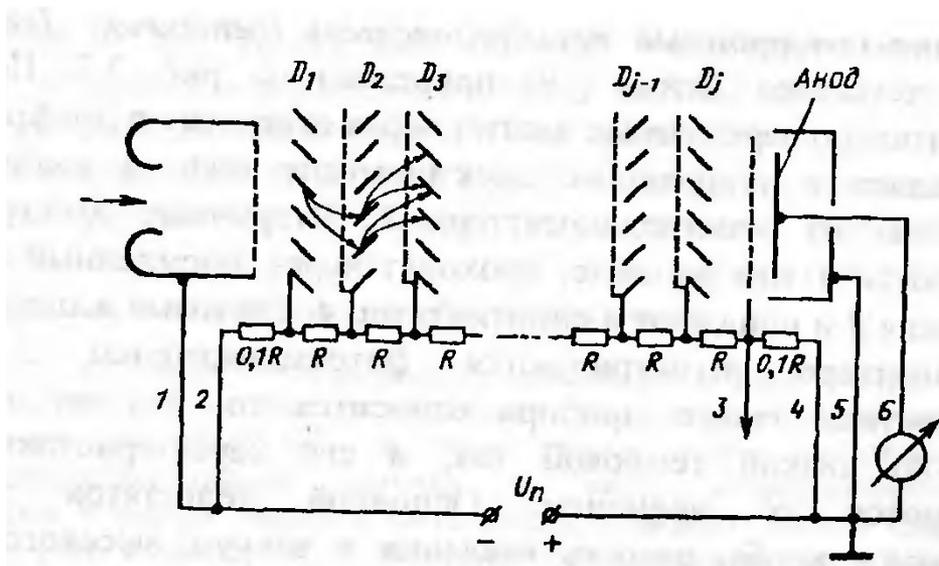
$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} y(vt_0 + \beta \cos 2\pi\nu_0 t) \cos 2\pi\nu_0 t dt,$$

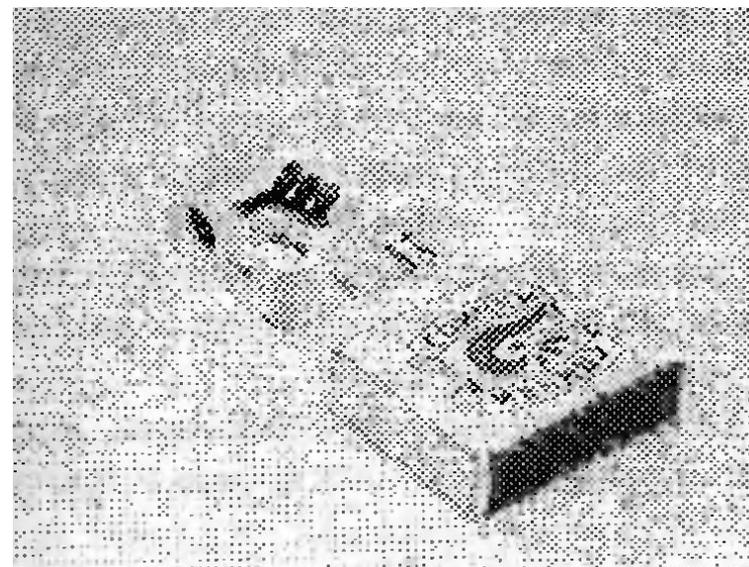
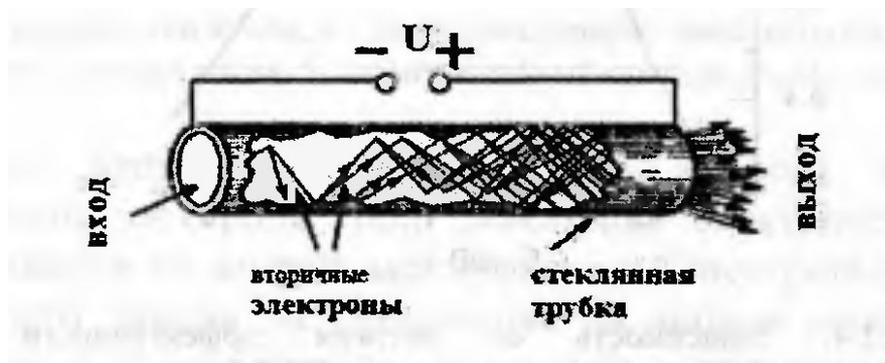
$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{t_0}^{t_0+T} \beta \left(\left. \frac{dy}{dp} \right|_{p=p_0} \right) (1 + \cos 4\pi\nu_0 t) dt = \frac{1}{2} \beta \left. \frac{dy}{dp} \right|_{p=p_0}.$$

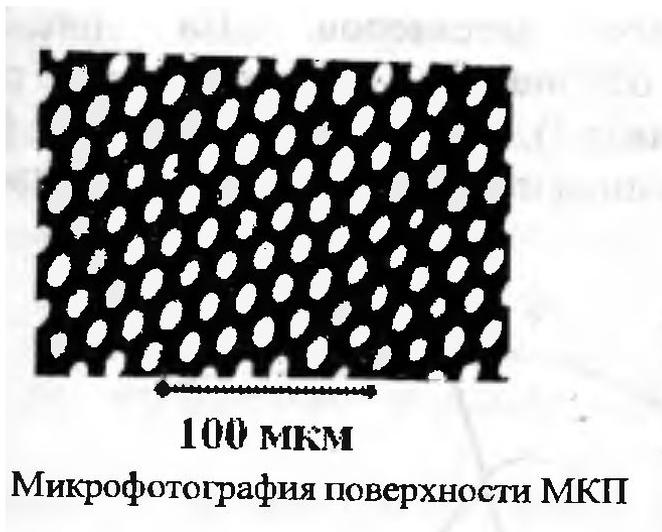
Детектирование оптического излучения

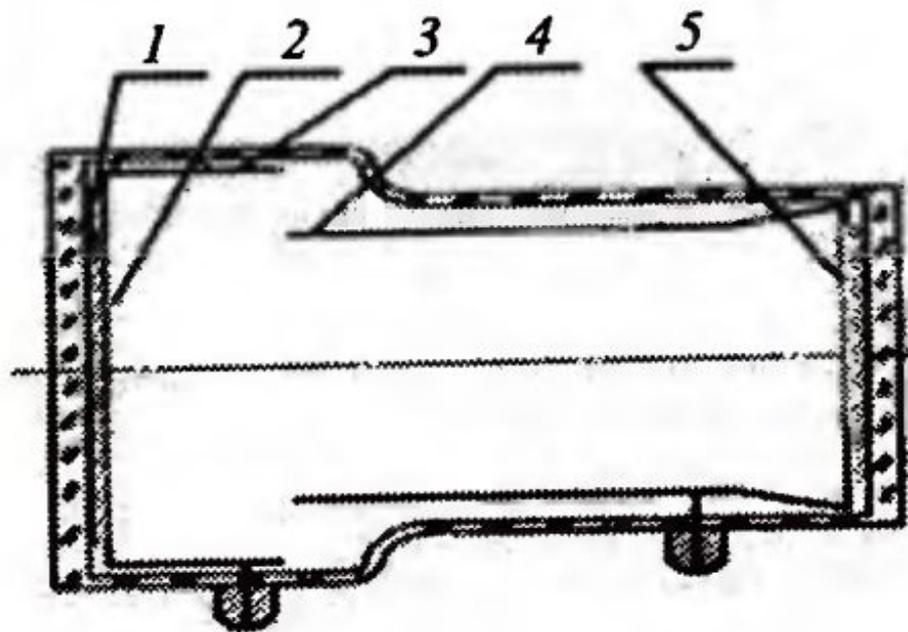


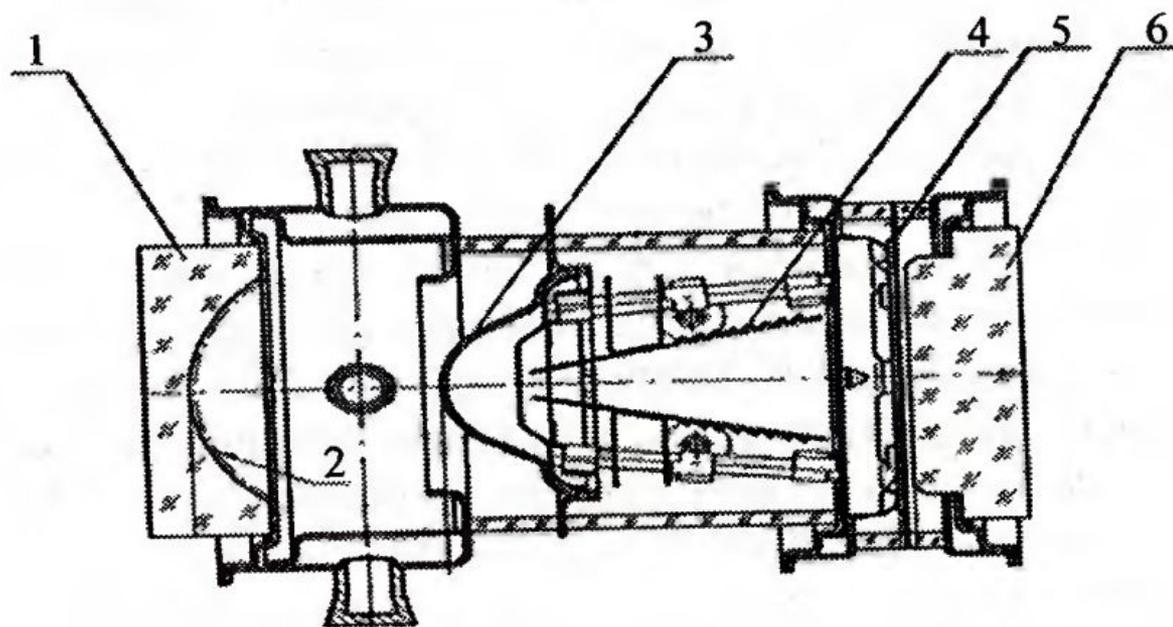








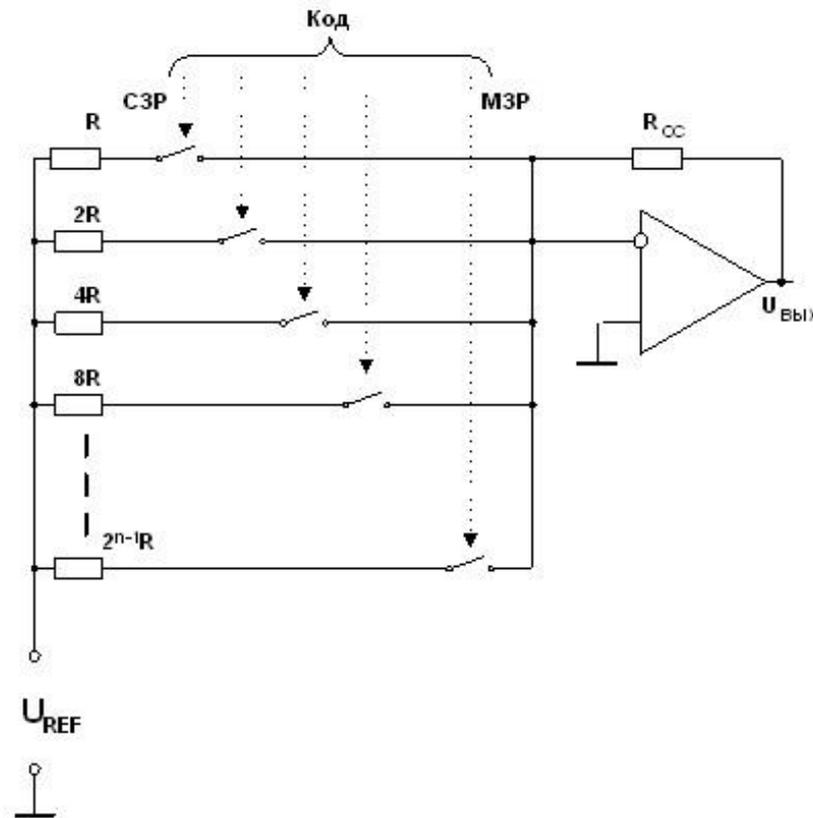




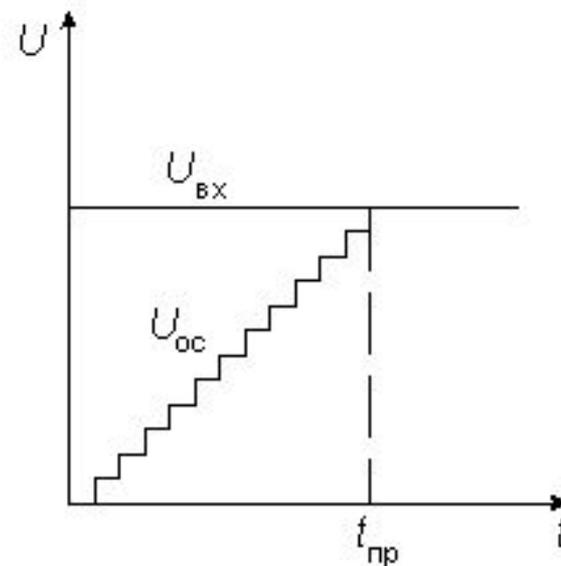
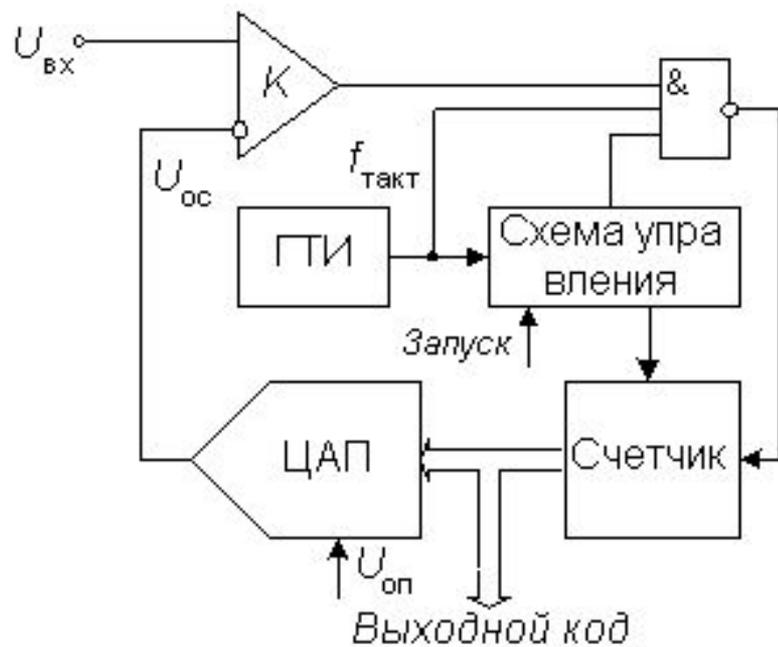
Автоматизация измерений



Цифро-аналоговый преобразователь



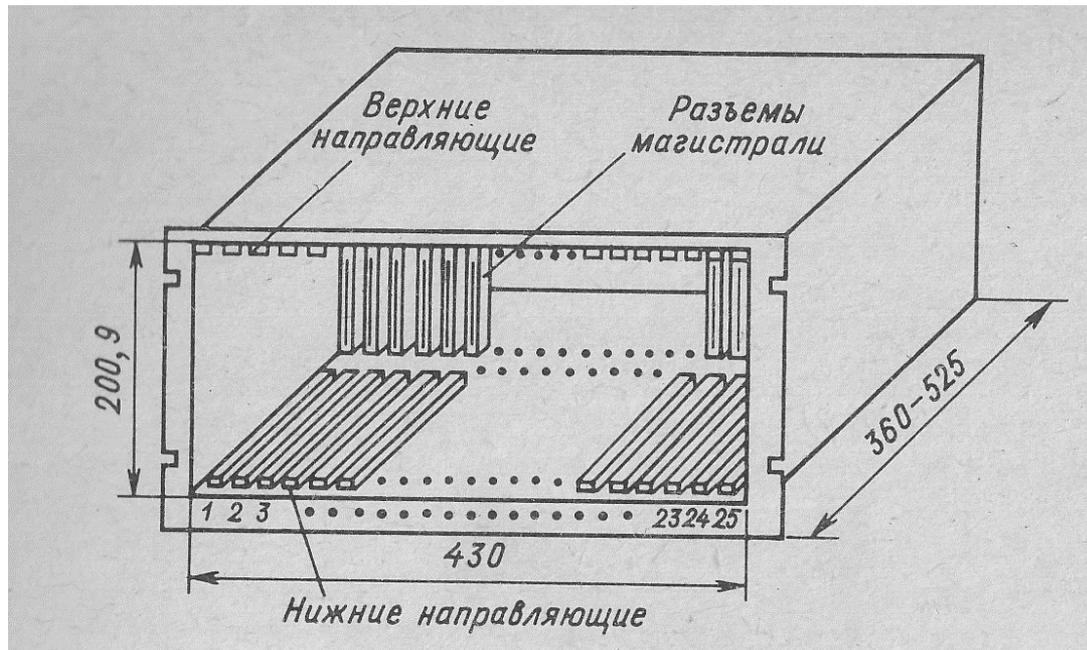
Аналого-цифровой преобразователь



а)

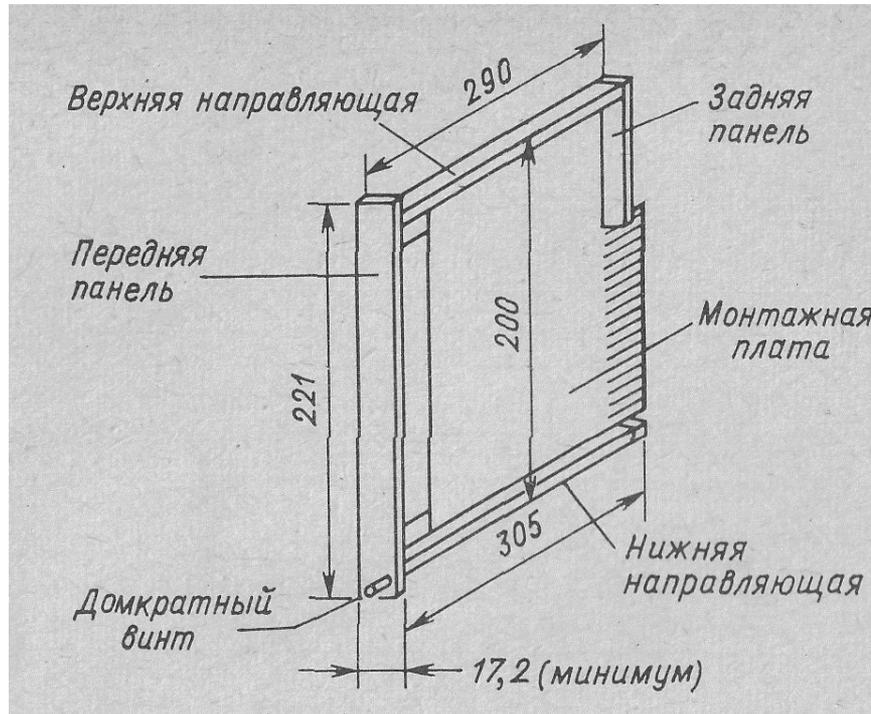
б)

Рис. 8. Структурная схема АЦП последовательного счета



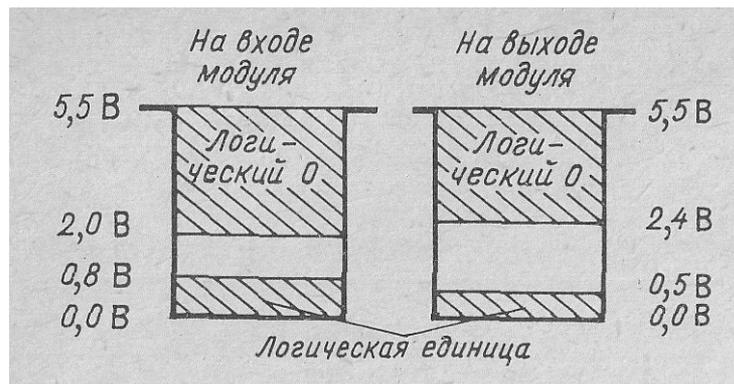
Крейт КАМАК

Механический стандарт КАМАК



Модуль
КАМАК

Электрический стандарт КАМАК



Уровни логического 0 и 1 для несогласованных линий передачи

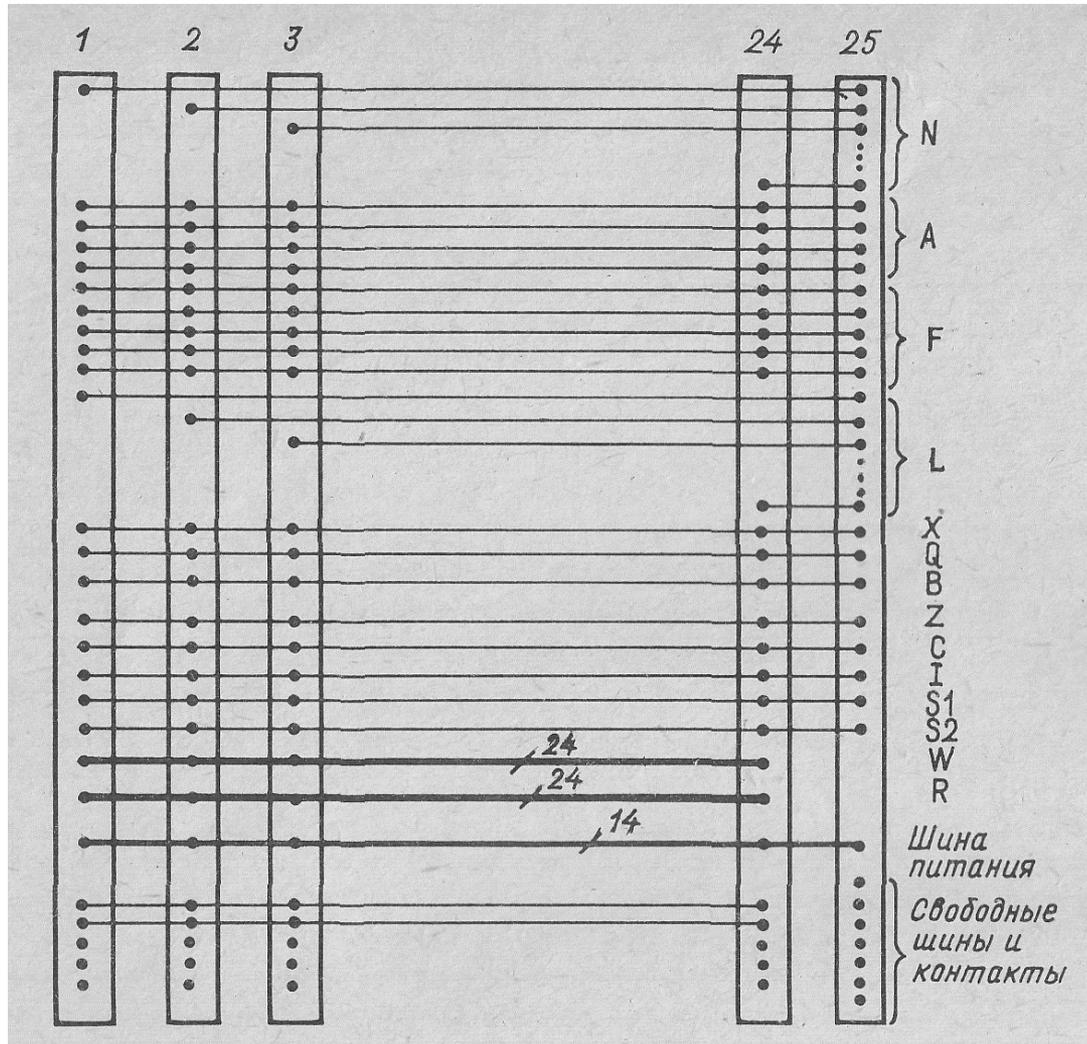
Логический стандарт КАМАК



Сигналы КАМАК:

1. Сигналы команды N, A, F
2. Сигналы состояния X, Q, L, B
3. Сигналы управления Z, C, I, S1, S2
4. Сигналы передачи данных W, R

Магистраль крейта



НАЗНАЧЕНИЕ КОНТАКТОВ НА СТАНЦИЮ УПРАВЛЕНИЯ
(Вид на крест спереди)

Индивидуальный дополнительный контакт	P1	В	Занято	Магистраль
Индивидуальный дополнительный контакт	P2	F16	Функция	Магистраль
Индивидуальный дополнительный контакт	P3	F8	Функция	Магистраль
Индивидуальный дополнительный контакт	P4	F4	Функция	Магистраль
Индивидуальный дополнительный контакт	P5	F2	Функция	Магистраль
Магистраль Команда принята	X	F1	Функция	Магистраль
Магистраль Запрет	1	A6	Субадрес	Магистраль
Магистраль Сброс	C	A4	Субадрес	Магистраль
Индивидуальный дополнительный контакт	P6	A2	Субадрес	Магистраль
Индивидуальный дополнительный контакт	P7	A1	Субадрес	Магистраль
Магистраль Строб 1	S1	Z	Пуск	Магистраль
Магистраль Строб 2	S2	Q	Свет	Магистраль

24 индивидуальные
линии "Запрос".
L1 от станции 1 итд.

- L24
- L23
- L22
- L21
- L20
- L19
- L18
- L17
- L16
- L15
- L14
- L13
- L12
- L11
- L10
- L9
- L8
- L7
- L6
- L5
- L4
- L3
- L2
- L1

24 индивидуальные
линии "номер станции".
N1 к станции 1 итд.

питательные линии	-12В постоянного тока	-12	-24	-24 постоянного тока
	+200В постоянного тока	+200	-6	-6В постоянного тока
	+17В переменного тока	ACL	ACN	+17В переменного тока
	Резервная	Y1	Б	Чистая Земля
	+12В постоянного тока	+12	+24	+24В постоянного тока
	Резервная	Y2	+0	+6В постоянного тока
	СБ (возврат мощности питания)	0	0	0В (возврат мощности питания)



Классификация модулей





