

Н.А.Ишинбаев

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ИЗМЕРЕНИЙ**

Иллюстративный материал к
конспекту лекций

Литература:

Основная

1 Метрология и радиоизмерения / Учебник для ВУЗов. /Под ред. В.И.Нефедова, -М.: Высшая школа, 2003. -526 с.

2 Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения. - М.: Высшая школа., 1986. -351 с

Дополнительная

1.Измерения в электронике. Справочник /Под ред. В. А. Кузнецова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 512с.

2 Метрология в вопросах и ответах / В. Д. Горбоконенко, В. Е. Шикина. Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 196 с.

Цель и задачи

Целью освоения дисциплины является формирование компетенции ОПК-1:

«Способность проводить количественный и качественный анализ параметров и контроль физического, химического, экологического состояния природных и технических механизированных, в том числе автоматизированных и социальных систем»

Задачи освоения дисциплины:

- изучение общих методов измерения и структур средств измерения физических величин;
- изучение методов и средств измерения параметров электрических сигналов и цепей;
- формирование навыков практического применения универсальных электроизмерительных приборов (мультиметров, осциллографов и т.д.).

Основные понятия и определения-1

ГОСТ 16263-70 ГСИ РМГ29-99

«Метрология. Термины и определения»

Метрология	- наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. (Metron – мера, logos – учение)
Физическая величина	качественно общее, но количественно различное свойство (размер или значение) объектов окружающего мира
Истинное значение физической величины	- значение физической величины, которое идеальным образом отражает в качественном и количественном отношении свойство данного объекта.
Действительное значение физической величины	- значение, полученное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Основные понятия и определения-2

Измерение	- нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств путем сравнения с общепринятыми единицами
Принцип измерения	- совокупность физических или других явлений, на которых основано данное измерение.
Метод измерения	- совокупность приемов использования принципов и средств измерений.
Уравнение измерения	- функция, связывающая измеряемую величину и результат измерения (опытные данные или окончательный результат)
Средство измерений	- техническое средство, используемое при измерениях и имеющее <i>нормированные метрологические</i> характеристики (оказывающие влияние на результат и погрешность измерения)

ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

по способу получения результата

Прямое	Измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно.
Косвенное	Определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.
Совокупные	Проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях.
Совместные	Проводимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для определения зависимости между ними

МАТ. ОПИСАНИЕ ВИДОВ ИЗМЕРЕНИЙ

- Прямое измерение: $y = x$

Косвенное измерение:

$$y_i = x_i, i = (1, n) \Rightarrow y = f(y_1, \dots, y_n)$$

Пример: Измерение мощности $P = UI$

Совокупные измерения:

$$y_i = f_i(x_1, \dots, x_n), i = (1, n) \Rightarrow x_j = f_j(y_1, \dots, y_n), j = (1, n)$$

x_j – одноименные величины

Пример:

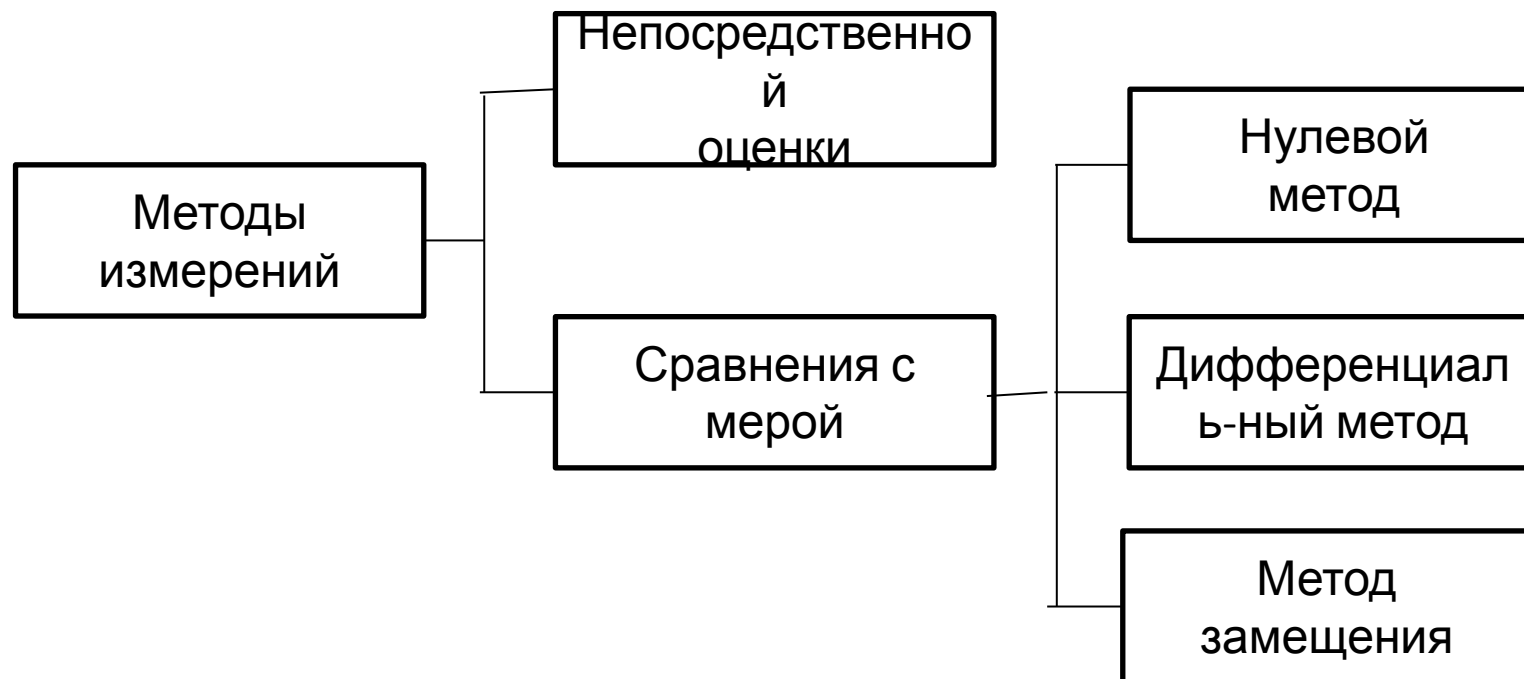
Совместные измерения:

$$y_i = f_i(x_1, \dots, x_n), i = (1, n) \Rightarrow x_j = f_j(y_1, \dots, y_n), j = (1, n) \Rightarrow F(x_1, \dots, x_n) = 0$$

x_j – разноименные величины

Пример:

Основные методы измерений



Определения: Методы измерений

Непосредственной оценки	при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений
Сравнения с мерой	в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой
Нулевой	в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля
Дифференциальный	при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами
Замещением	в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины.

Средства измерений

Мера	Средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.
Измерительный преобразователь	Техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.
Средство сравнения	Техническое средство или специально создаваемая среда, посредством которых возможно выполнять сравнения друг с другом мер однородных величин или показания измерительных приборов.

Средства измерений

продолжение

Измерительный прибор	Средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне.
Измерительная установка	Совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких физических величин и расположенная в одном месте
Измерительная система	Совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта и т.п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

Классификация радиоизмерительных приборов

П/гр	Наименование подгруппы
А	Приборы для измерения силы тока
Б	Источники питания для измерений и измерительных приборов
В	Приборы для измерения напряжения
Г	Генераторы измерительные
Д	Аттенюаторы и приборы для измерения ослаблений
Е	Приборы для измерения параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными
И	Приборы для импульсных измерений
К	Комплексные измерительные установки
Л	Приборы общего применения для измерения параметров электронных ламп и полупроводниковых приборов
М	Приборы для измерения мощности
Н	Меры и калибраторы

П/гр	Наименование подгруппы
П	Приборы для измерения напряженности поля и радиопомех
Р	Приборы для измерения параметров элементов и трактов с распределенными постоянными
С	Приборы для наблюдения, измерения и исследования формы сигнала и спектра
У	Усилители измерительные
Ф	Приборы для измерения фазового сдвига и группового времени запаздывания
Х	Приборы для наблюдения и исследования характеристик радиоустройств
Ц	Анализаторы логических устройств
Ч	Приборы для измерения частоты и времени
Ш	Приборы для измерения электрических и магнитных свойств материалов
Э	Измерительные устройства коаксиальных и волноводных трактов
Я	Блоки радиоизмерительных приборов

Система физических единиц

Электрическая величина		Единица измерений		
наименование	обозначение	наименование	русское обозначение	международное обозначение
Сила тока	I	Ампер	А	A
Напряжение, ЭДС	U, E	Вольт	В	V
Мощность активная	P	Ватт	Вт	W
Сопротивление	R	Ом	Ом	Ω
Емкость	C	Фарада	Ф	F
Индуктивность, взаимная индуктивность	L, M	Генри	Гн	H
Частота	f	Герц	Гц	Hz
Длина волны	λ	метр	м	m
Фазовый сдвиг	ϕ	радиан	рад	rad

Основные характеристики сигналов

Амплитуда(пиковое) значение U_m -наибольшее мгновенное значение сигнала за интервал наблюдения или за период.

Среднее значение(постоянная составляющая) сигнала равно среднему арифметическому всех мгновенных значений за период или инт. наблюдё

$$U_{\text{cp}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt .$$

Средневыпрямленное значение сигнала определяется как среднее арифметическое абсолютных мгновенных значений за период :

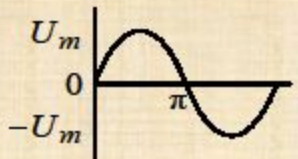
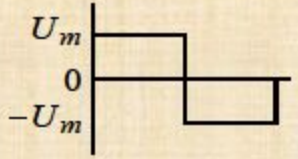
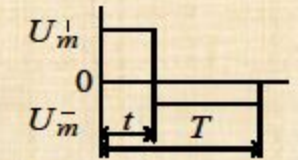
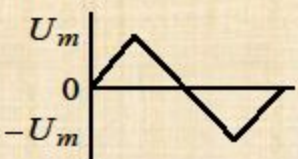
$$U_{\text{cp.в}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt .$$

Среднее квадратическое значение сигнала есть корень квадратный из среднего квадрата его мгновенного значения за время измерения(за период):

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt .}$$

Коэффициенты формы и амплитуды

$$K_a = \frac{U_m}{U} ; \quad K_\phi = \frac{U}{U_{\text{cp.в}}} .$$

Форма сигнала	Параметры сигнала			
	$U_{\text{ср. в}}$	U	K_{ϕ}	K_a
	$\frac{2}{\pi}U_m$	$0.707U_m$	1.11	1.414
	U_m	U_m	1	1
 <p> $U_{p-p} = U_m^+ - U_m^-$ $q = T/t$ </p>	$2\frac{q-1}{q^2}U_{p-p}$	$\sqrt{\frac{1}{q}\left(1-\frac{1}{q}\right)}U_{p-p}$	1	$\sqrt{q-1}$
	$0.5U_m$	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_m$	1.155	1.733

Измерение напряжения и тока

- Диапазоны измерения:
напряжения 10^{-10} – 10^6 В, тока 10^{-18} – 10^5 А

Классификация:

Электромеханические

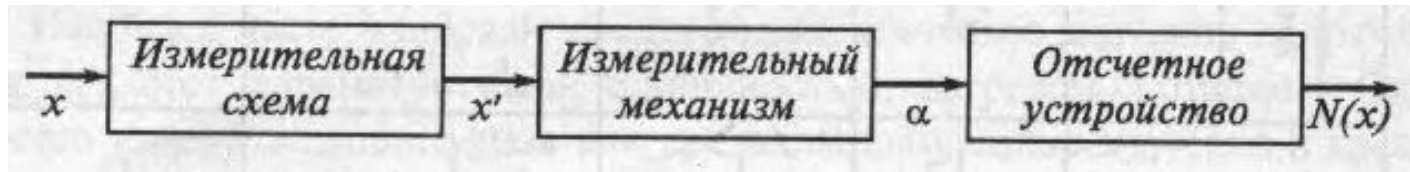
Электронные аналоговые

Электронные цифровые

Электромеханические приборы

- В эту группу относятся приборы, не имеющие активных преобразователей сигнала.

Общая схема



Общее уравнение ИМ в установившемся режим

$$M_{вр} = \sum M_{пр}$$

$$M_{вр} = \frac{dW}{d\alpha}, \quad M_{пр} = M_0 \alpha$$

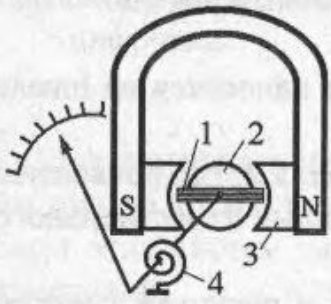
Уравнение преобразования ИМ

$$\alpha = \frac{1}{M_0} \frac{dW}{d\alpha}$$

Магнитоэлектрический ИМ

Магнитоэлектрическая:

- 1 – рамка с измеряемым током и стрелкой;
- 2 – неподвижный сердечник;
- 3 – полюсные наконечники
- 4 – возвратная пружина



Основан на взаимодействии рамки с изм. током и однородного магнитного поля

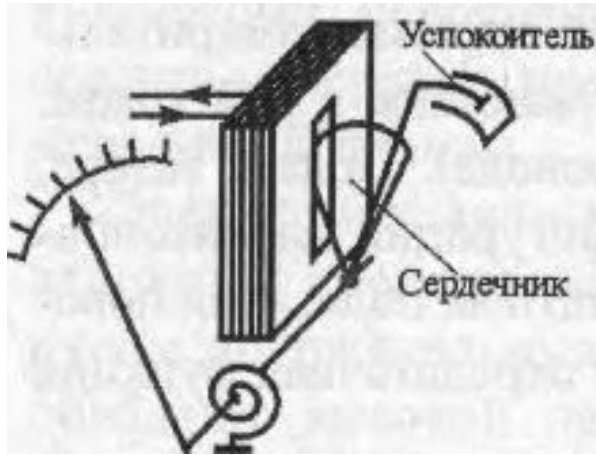
$$M_{вр} = BSNI, M_{пр} = M_0\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{BSN}{M_0} I = S_I I$$

Достоинства: линейная шкала ($S_I = \text{const}$), Высокая чувствительность (доли мкА), высокая точность (кл. точности от 0.05); малые потери в ИМ (от 10^{-5} Вт); Высокая помехоустойчивость.

Недостатки: сложная конструкция; низкая перегрузочная способность; зависимость градуировки от температуры; не измеряет переменный ток.

Область применения: переносные, лабораторные многопредельные амперметры, вольтметры, мультиметры, гальванометры

Электромагнитный ИМ



Основан на взаимодействии магнитного поля неподвижной катушки индуктивности с подвижным ферромагнитным сердечником

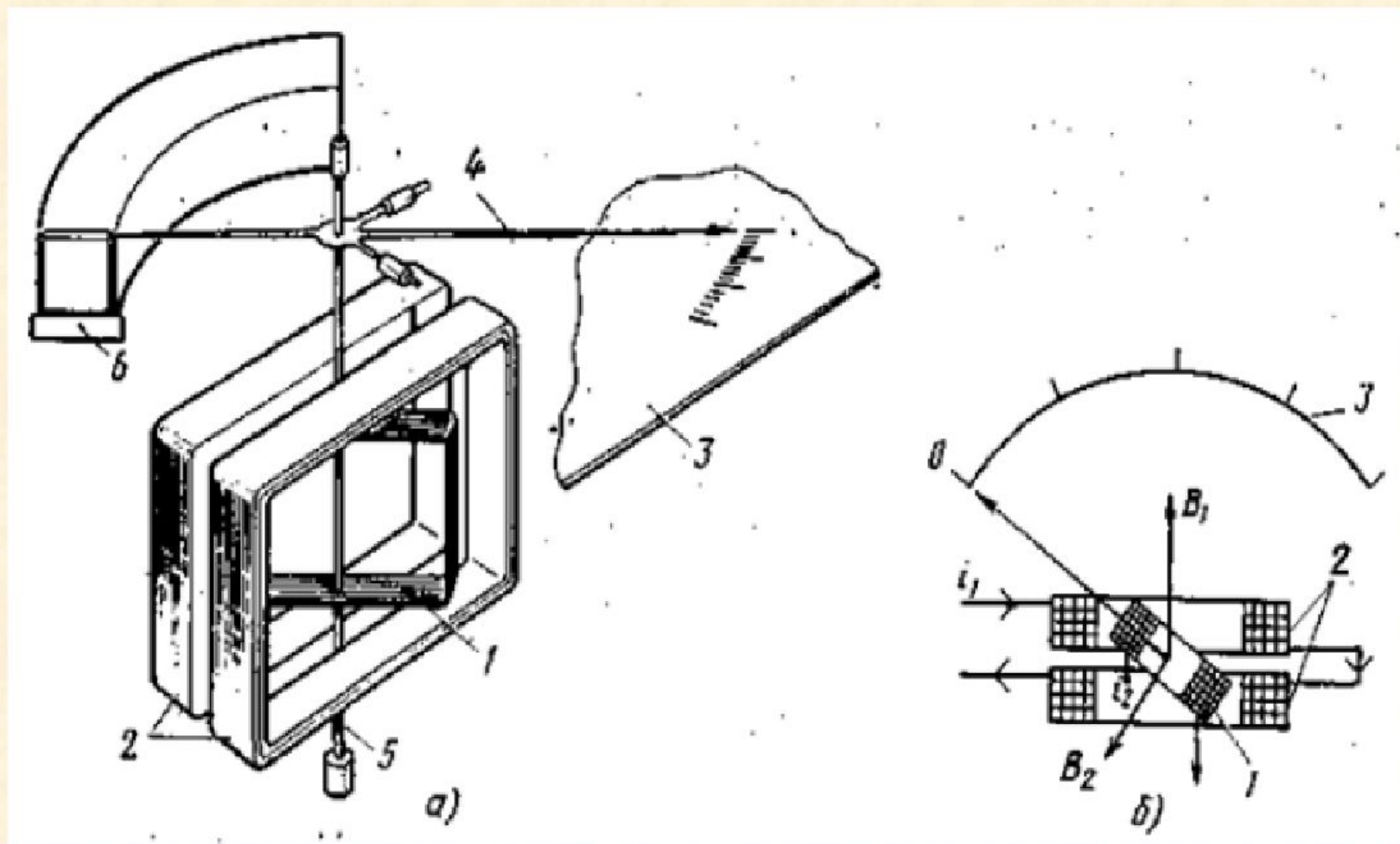
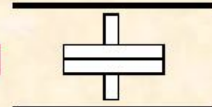
$$W = \frac{LI^2}{2}, M_{вр} = \frac{dL}{2d\alpha} I^2, M_{пр} = M_0 \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{dL}{M_0 2d\alpha} I^2$$

Достоинства: Измеряет пост. и перем. ток; Измеряет средне-кв. значение перем. тока, Высокая перегр. способность; простая и дешевая конструкция.

Недостатки: Нелинейность шкалы, низкая точность (кл.т. от 0,5), низкая чувствительность; сильное влияние внешних полей, высокое потребление энергии, малый частотный диапазон (до 5 кГц)

Область применения: Щитовые, лабораторные, переносные амперметры и вольтметры

Электродинамический измерительный механизм



Основан на взаимодействии магнитных полей двух катушек индуктивности (подвижной и неподвижной) **На пост токе**

$$M_{вр} = \frac{dW}{d\alpha} = \frac{d\left(\frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2 I_2^2}{2} + M_{12} I_1 I_2\right)}{d\alpha} = \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2, M_{пр} = M_0 \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{dM_{12}}{M_0 d\alpha} I_1 I_2$$

На перем.токе

$$\alpha = \frac{dM_{12}}{M_0 d\alpha} I_1 I_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Преимущества:

Измеряет постоянный и переменный ток, измеряет среднеквадратическое значение переменного тока. Высокая точность (кл.т. 0.01), Можно использовать для измерения мощности

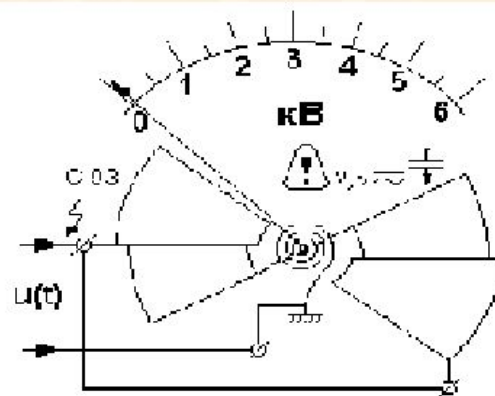
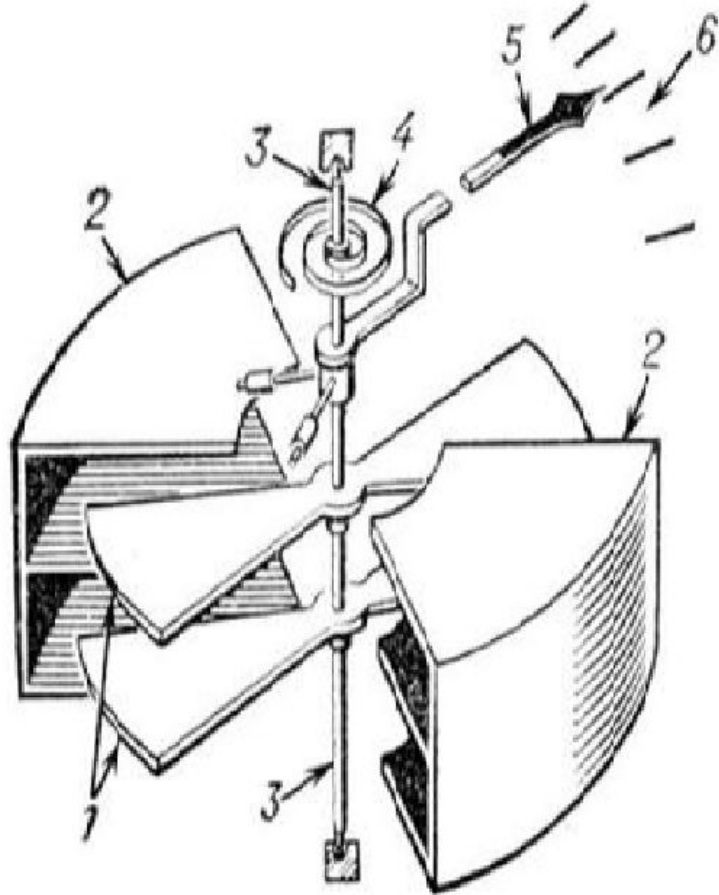
Недостатки:

Сложная и дорогая конструкция, низкая перегрузочная способность, нелинейная шкала, Сильное влияние внешних электромагнитных полей

Область применения

Лабораторные приборы высокой точности, частотный диапазон до 5 кГц

Электростатический измерительный механизм



$$\alpha = \frac{1}{\mu} \frac{d \left(C \frac{u^2}{2} \right)}{d\alpha} = \frac{1}{\mu} \frac{dC}{d\alpha} \frac{u^2}{2}$$

Для переменного напряжения

$$\alpha = \frac{1}{\mu} \frac{dC}{d\alpha} U^2$$

Свойства электростатического ЭМП

- Измеряет постоянные и переменные токи по одной шкале
- Измеряет среднеквадратическое значение переменного напряжения
- Высокая точность - нет нестабильных элементов
- Простая и дешевая конструкция
- Высокая перегрузочная способность
- Не потребляет энергии измеряемого напряжения
- Большой частотный диапазон- до 10 МГц

Недостатки:

- Нелинейность шкалы напряжения
- Низкая чувствительность
- Сильное влияние внешних электрических полей

Область применения:

Измерение постоянных и переменных напряжений средних и больших величин. Киловольтметры. Классы точности – от 0.5

Структуры аналоговых электронных вольтметров

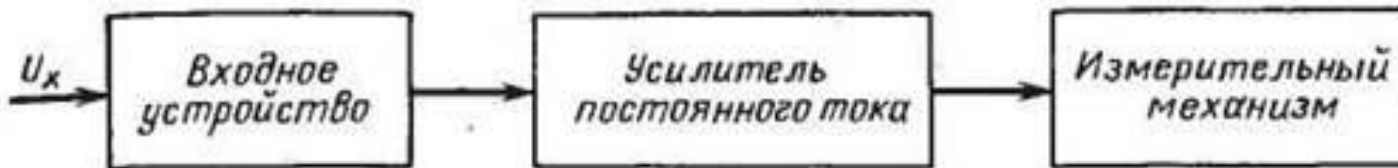


Рис. 2.28

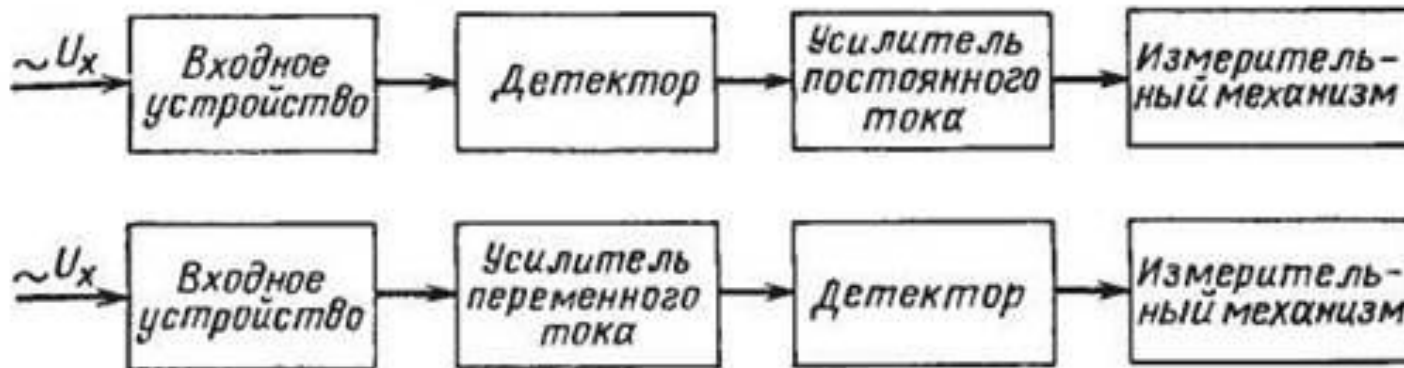


Рис. 2.29

Продолжение

Рис.2.28 – **Вольтметр для измерения постоянного напряжения**

Недостатки: дрейф нуля, низкая помехоустойчивость, по точности уступает цифровым вольтметрам, в связи с чем практически не выпускается.

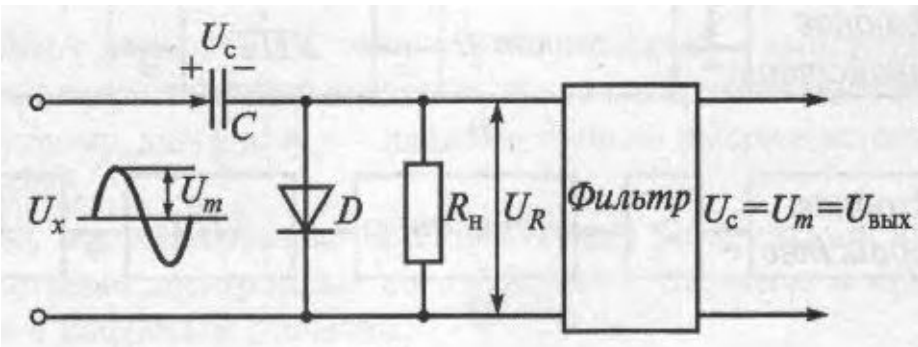
Рис.2.29 **Аналоговые вольтметры переменного тока**

Вольтметр типа **детектор – усилитель** обладает широким частотным диапазоном, но меньшей чувствительностью

Вольтметр типа **усилитель – детектор** имеет большое входное сопротивление, высокую чувствительность, но узкий частотный диапазон.

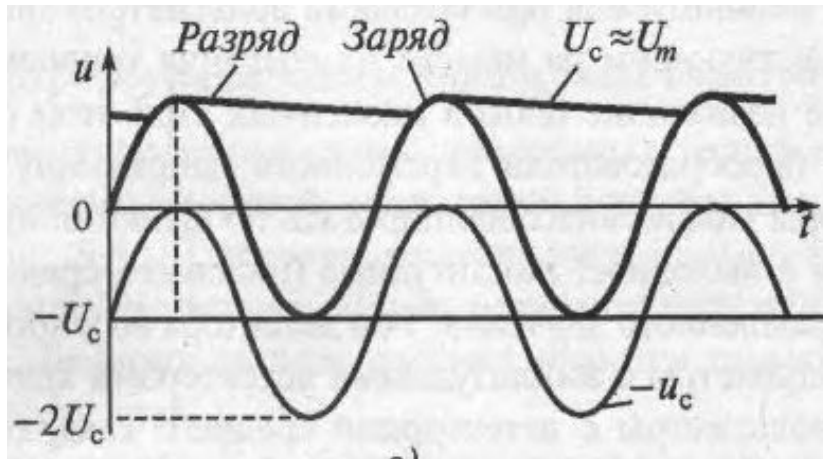
Входное устройство – резистивные, резистивно емкостные или емкостные делители на напряжения

Амплитудный детектор



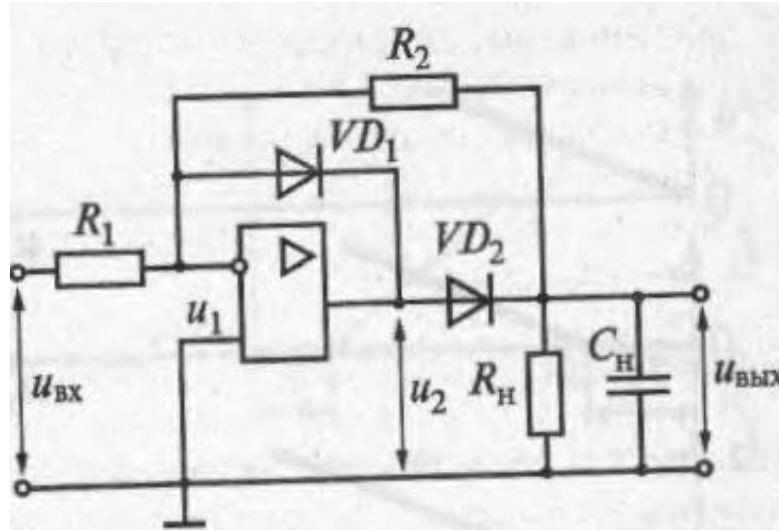
$$\tau_3 = CR_D \leq \frac{1}{f_{max}}$$

$$\tau_p = CR_H \geq \frac{1}{f_{min}}$$



Используется в импульсных
вольтметрах, показания не
зависят от формы сигналов.
Обладает широким частотным
диапазоном
Градуируется в среднекв.
значениях

Амплитудный детектор на ОУ



При пол. полуволне входного напряжения VD_1 открыт, VD_2 – закрыт
 $u_2 = u_{ds[} = 0$

При отр полуволне входного напряжения VD_1 закрыт, VD_2 – открыт

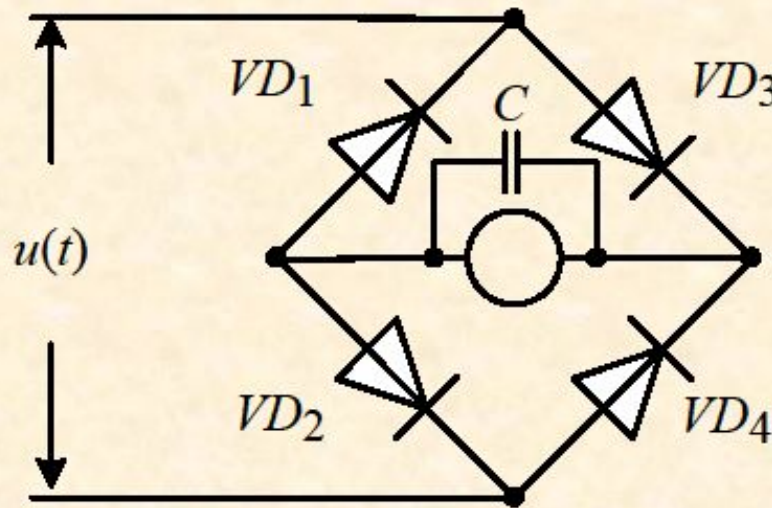
$$u_2 = u_{ds[} = -u_{ВХ} \frac{R_2}{R_1}$$

Это детектор с открытым входом

Вольтметр средневыпрямленного значения

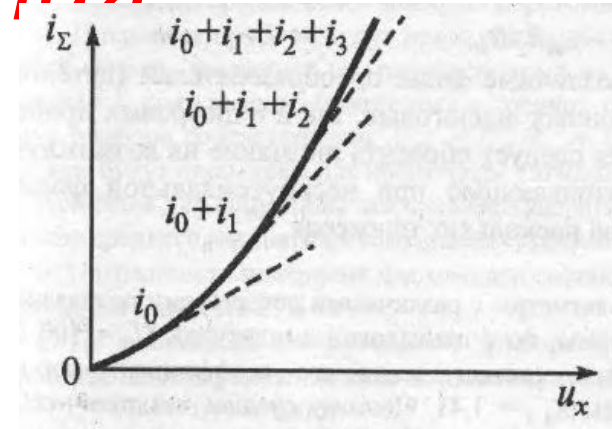
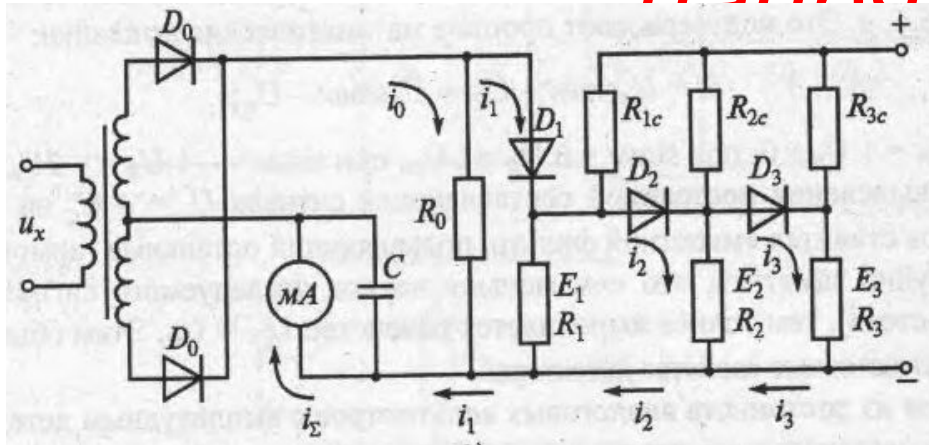
$$u(t) \rightarrow |u(t)| \rightarrow \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

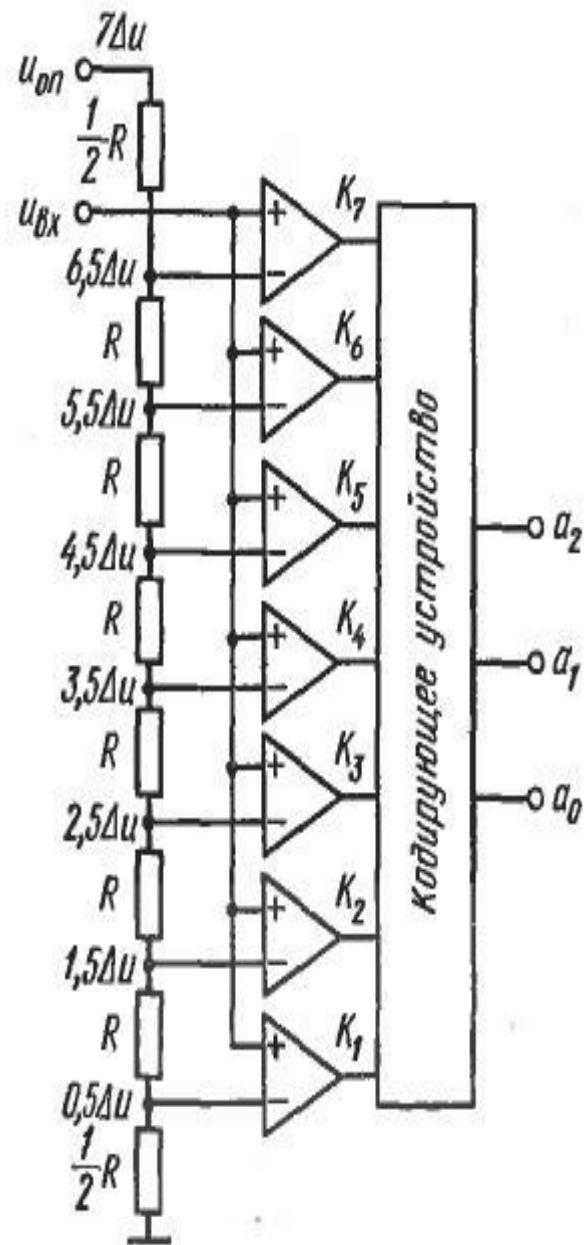
Преобразования в детекторе
средневыпрямленного значения



Детектор
средневыпрямленных
значений

Детектор среднеквадратического значения напряжения





АЦП последовательного счета

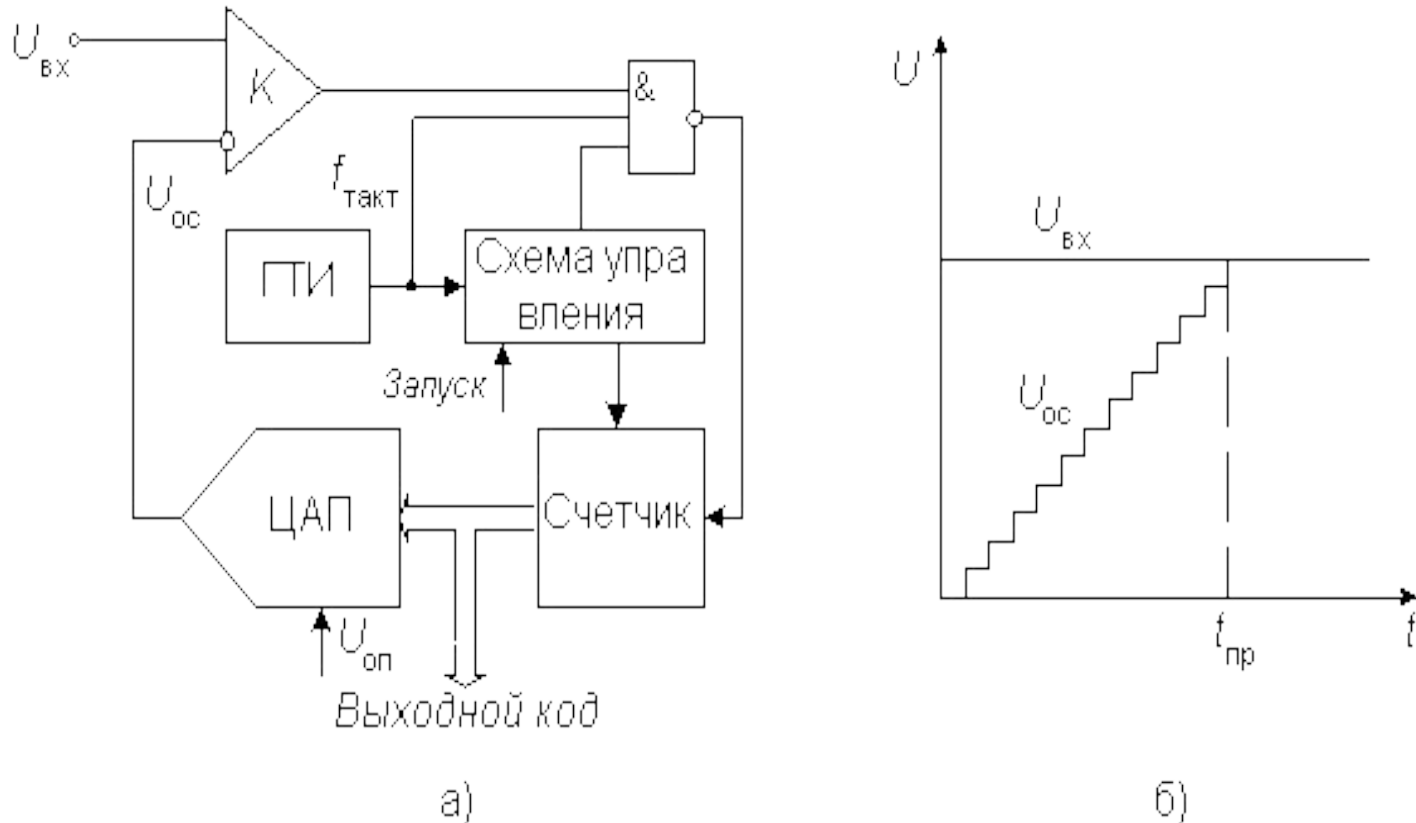


Рис. 8. Структурная схема АЦП последовательного счета

АЦП последовательного счета

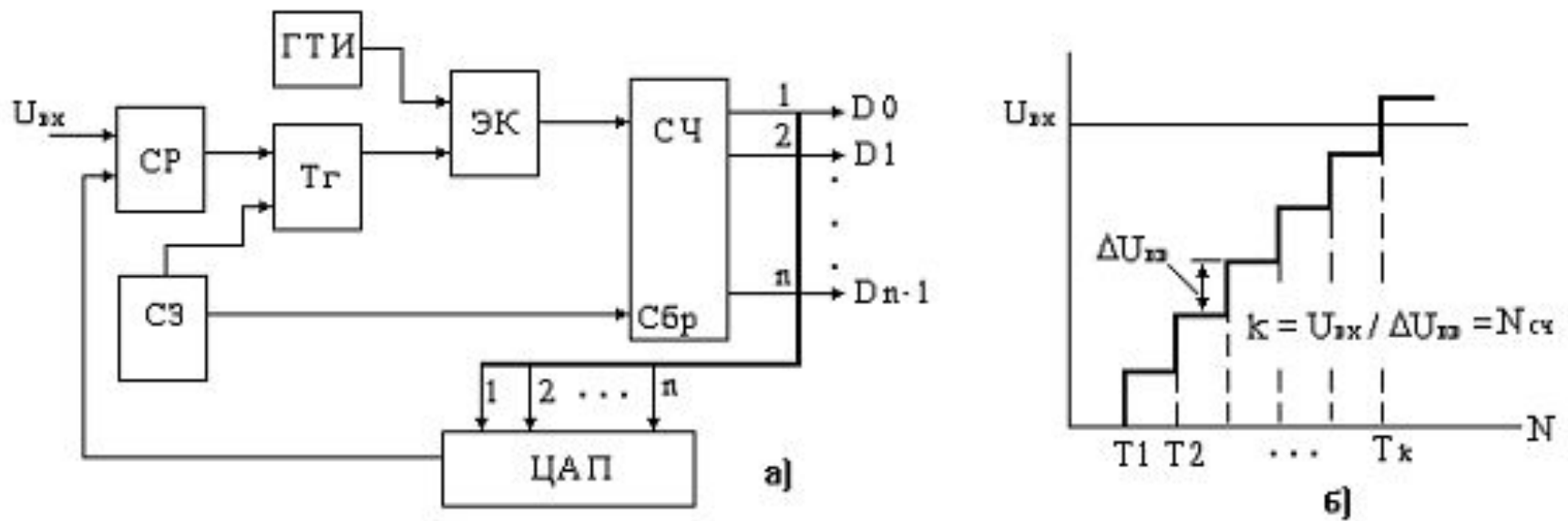
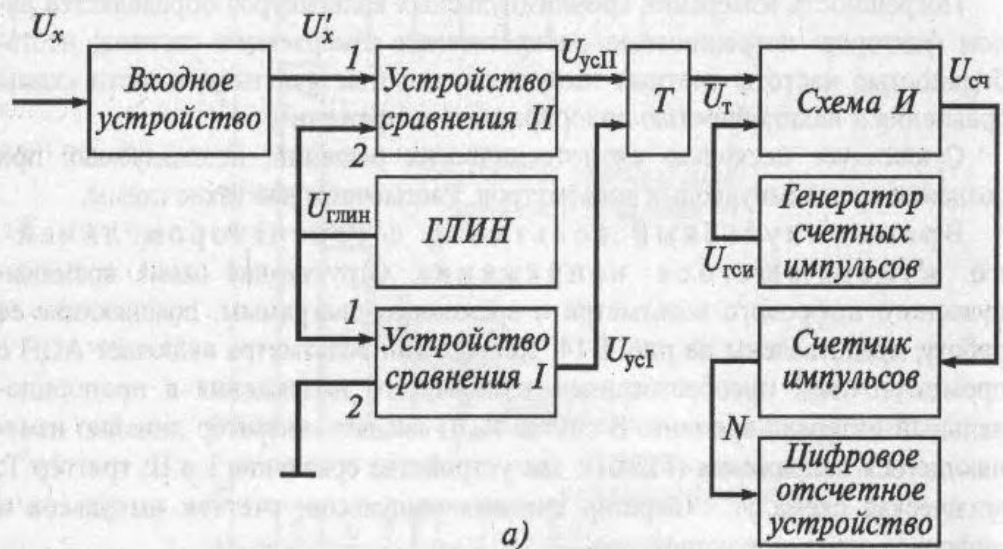
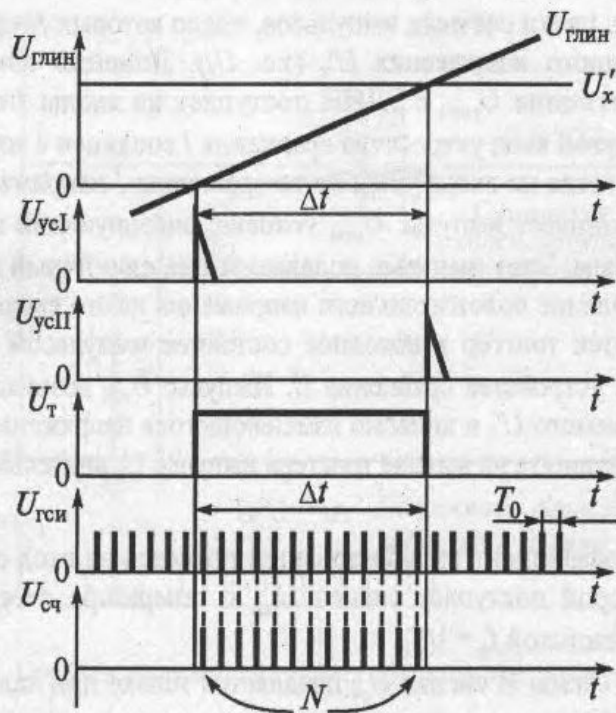


Рис. 5.13. АЦП последовательного счета (а) и его временная диаграмма (б)

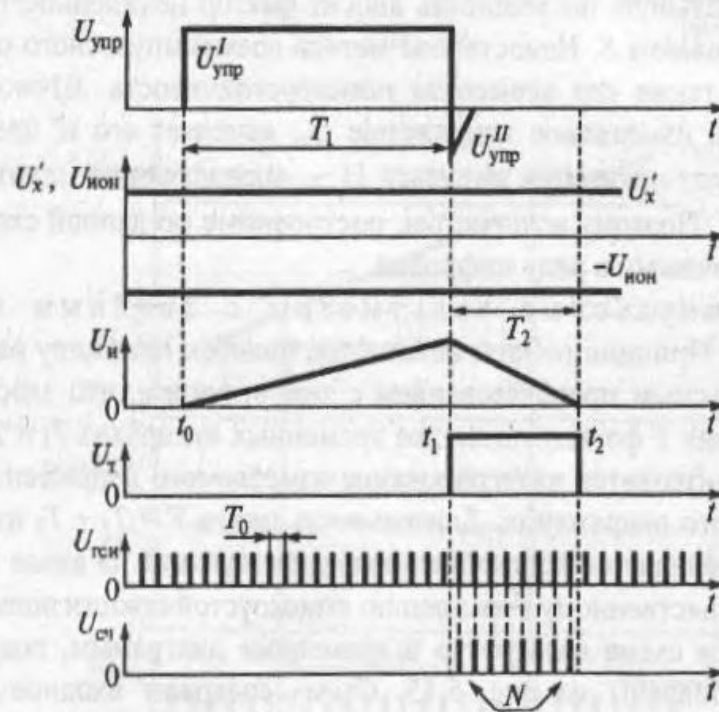


a)

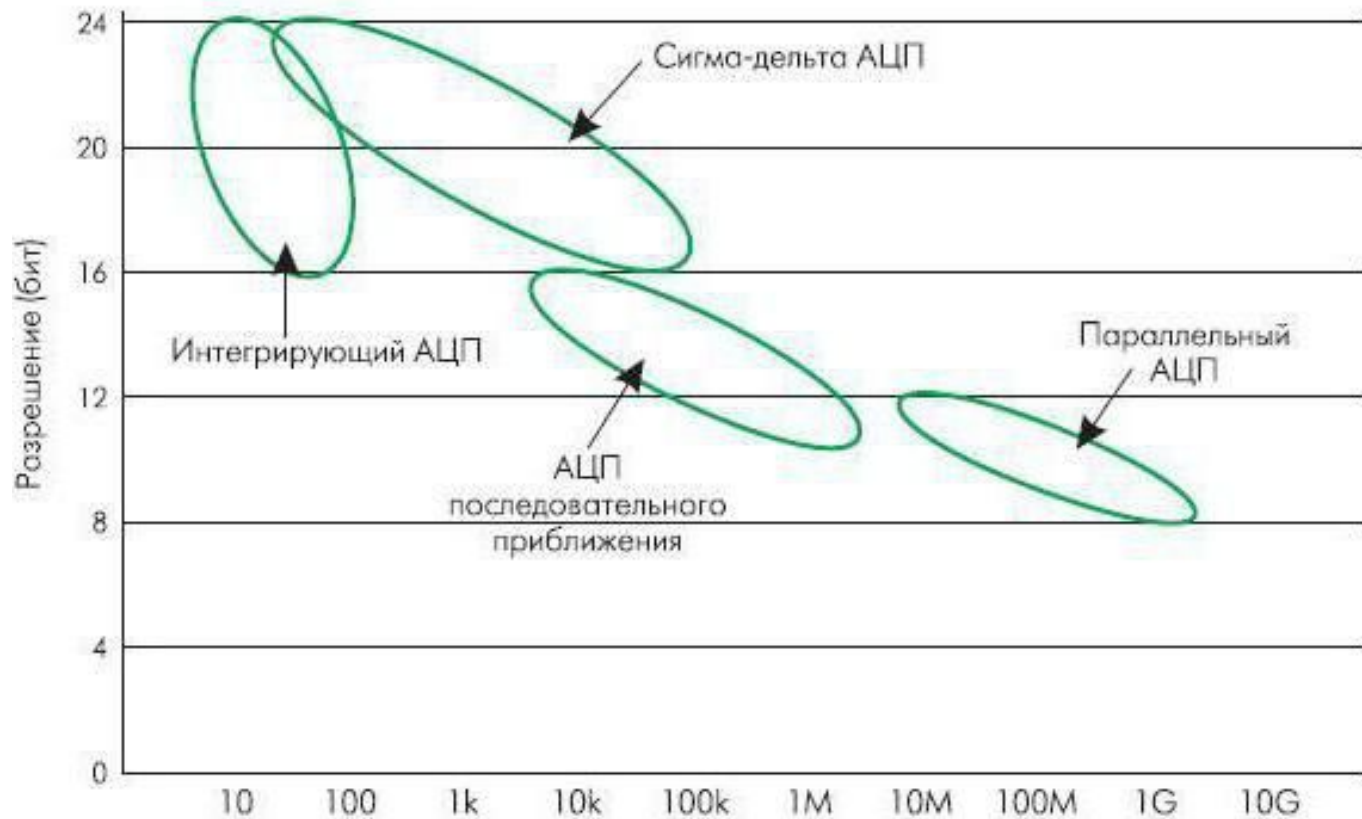




a)

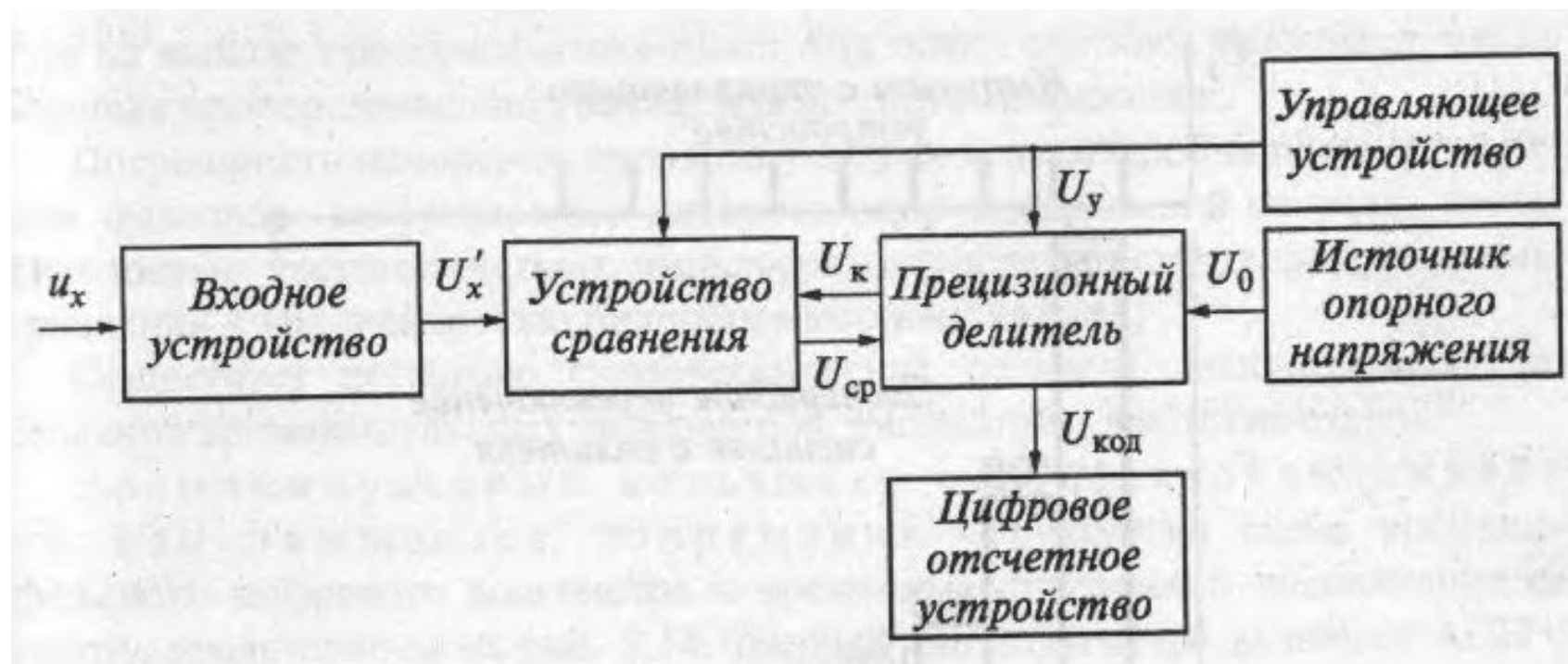


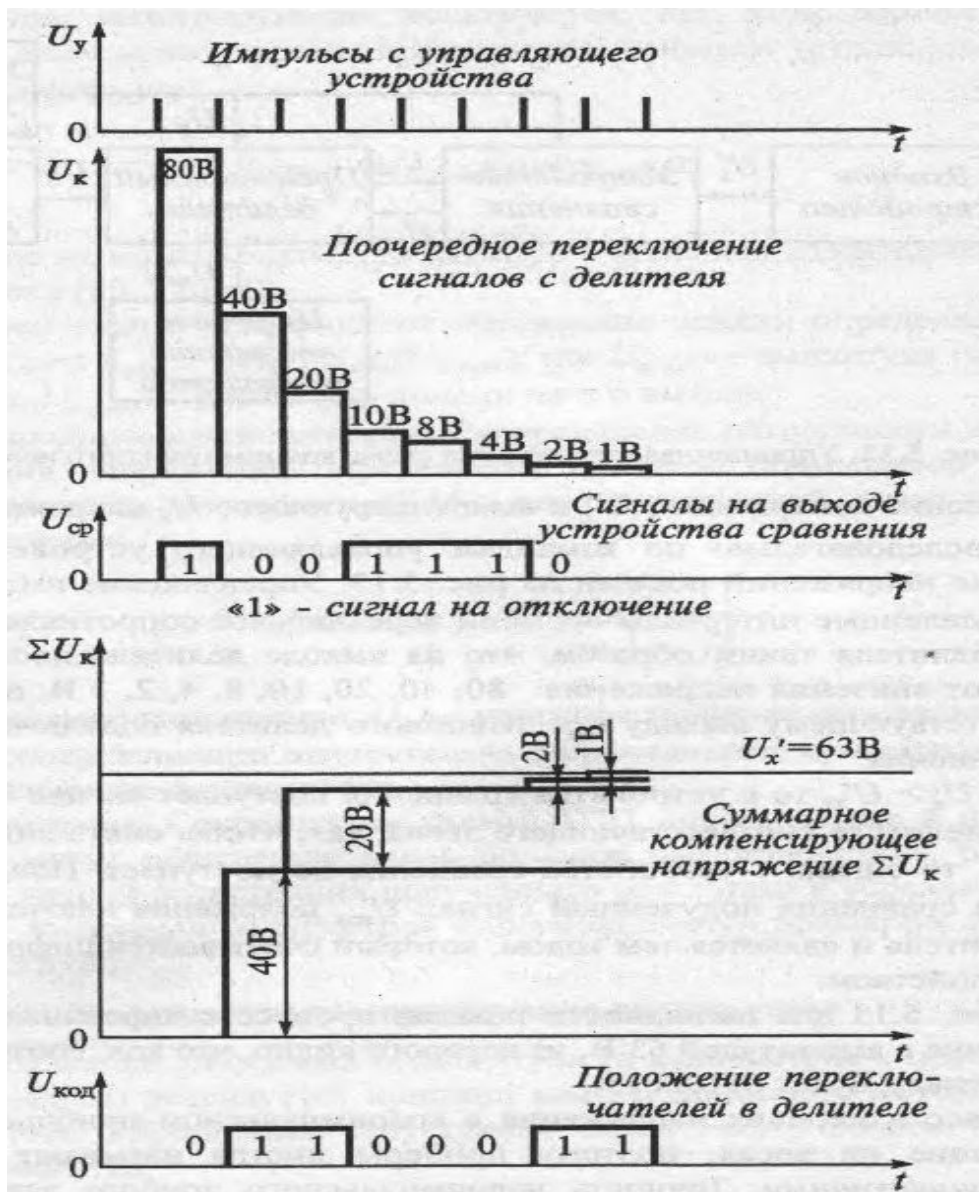
Разрядность и частотный диапазон различных АЦП



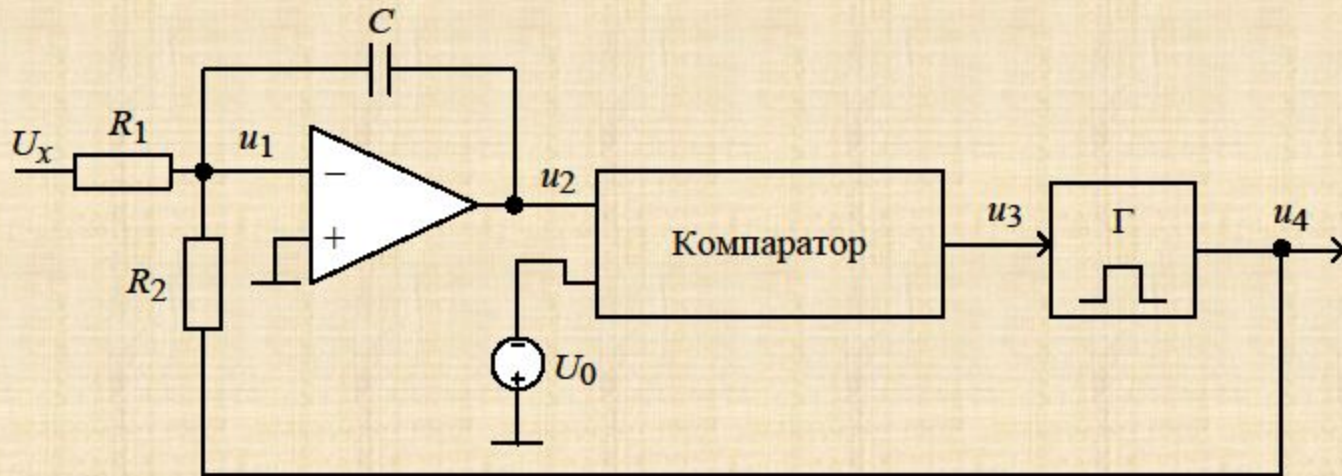
1. Типы АЦП — разрешение в зависимости от частоты дискретизации

АЦП последовательного приближения

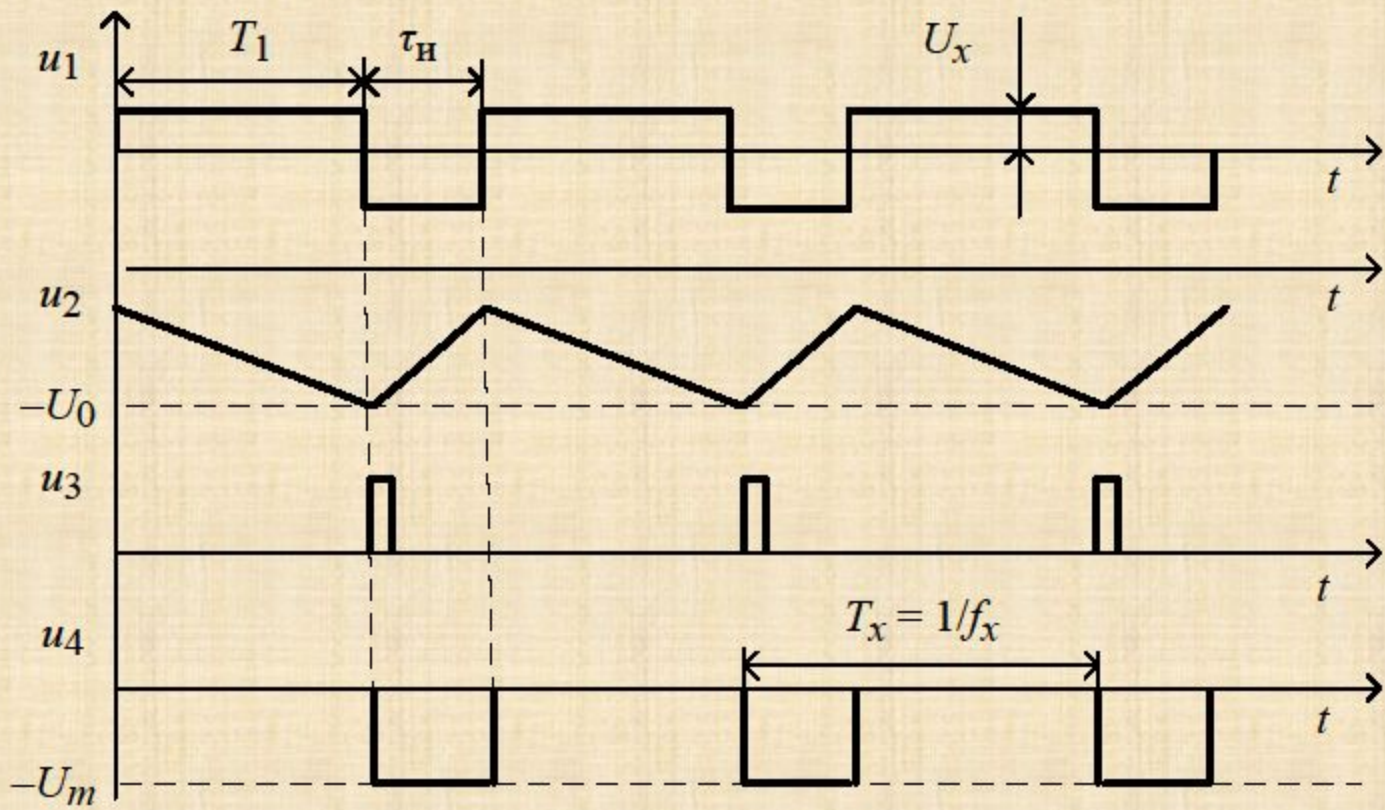




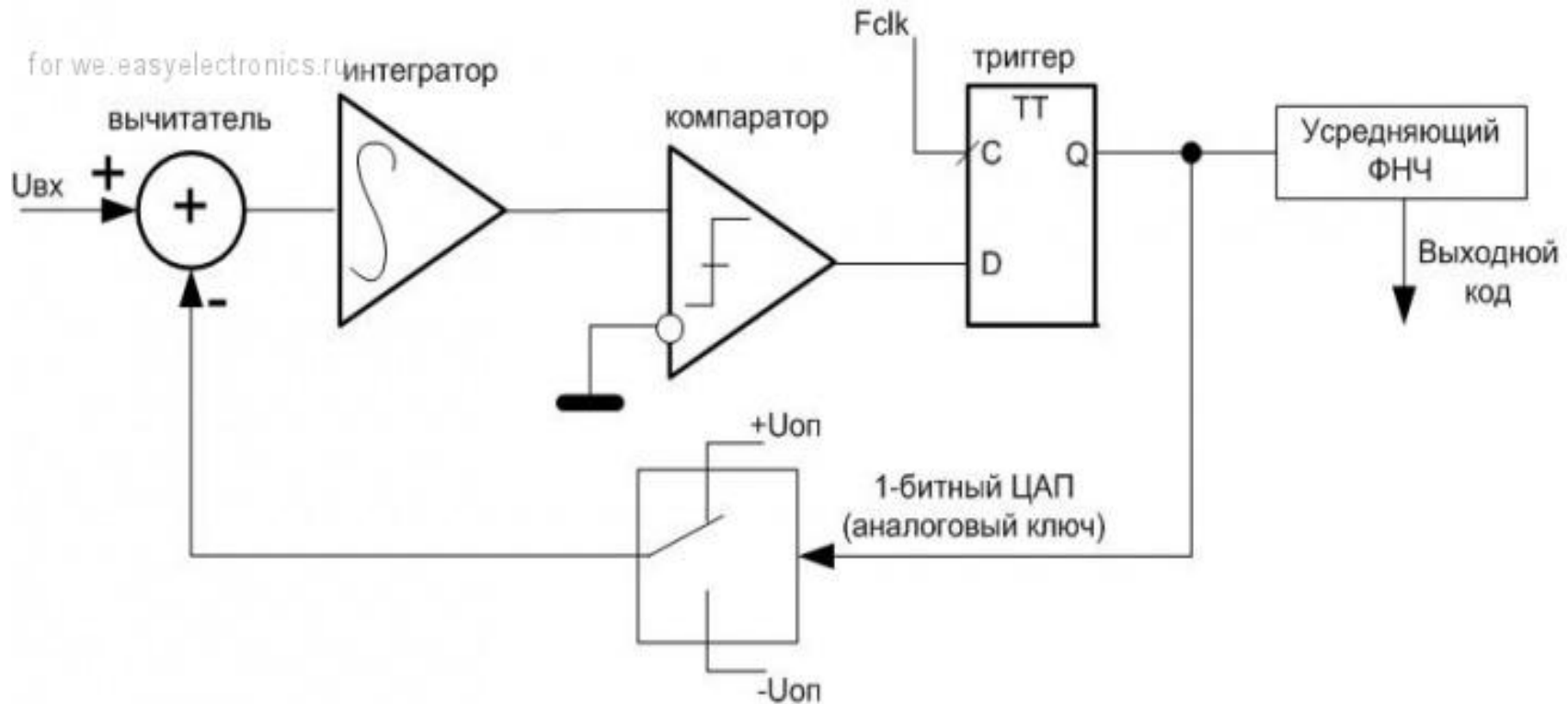
ЦВ с преобразованием напряжения в частоту



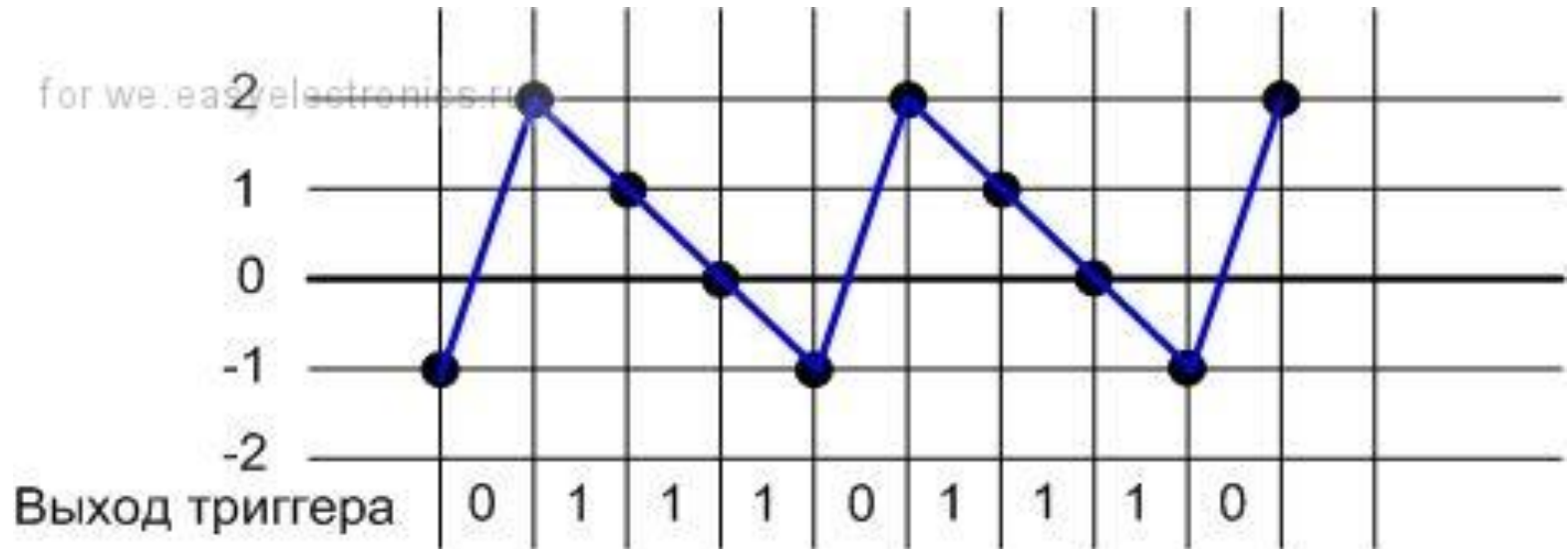
Используется преобразователь «напряжение–частота» (ПНЧ). В ПНЧ осуществляется двойное интегрирование суммы входного напряжения и импульсов, генератора u_4 . Линейно нарастающее и убывающее напряжение u_2 сравнивают с опорным напряжением U_0 .



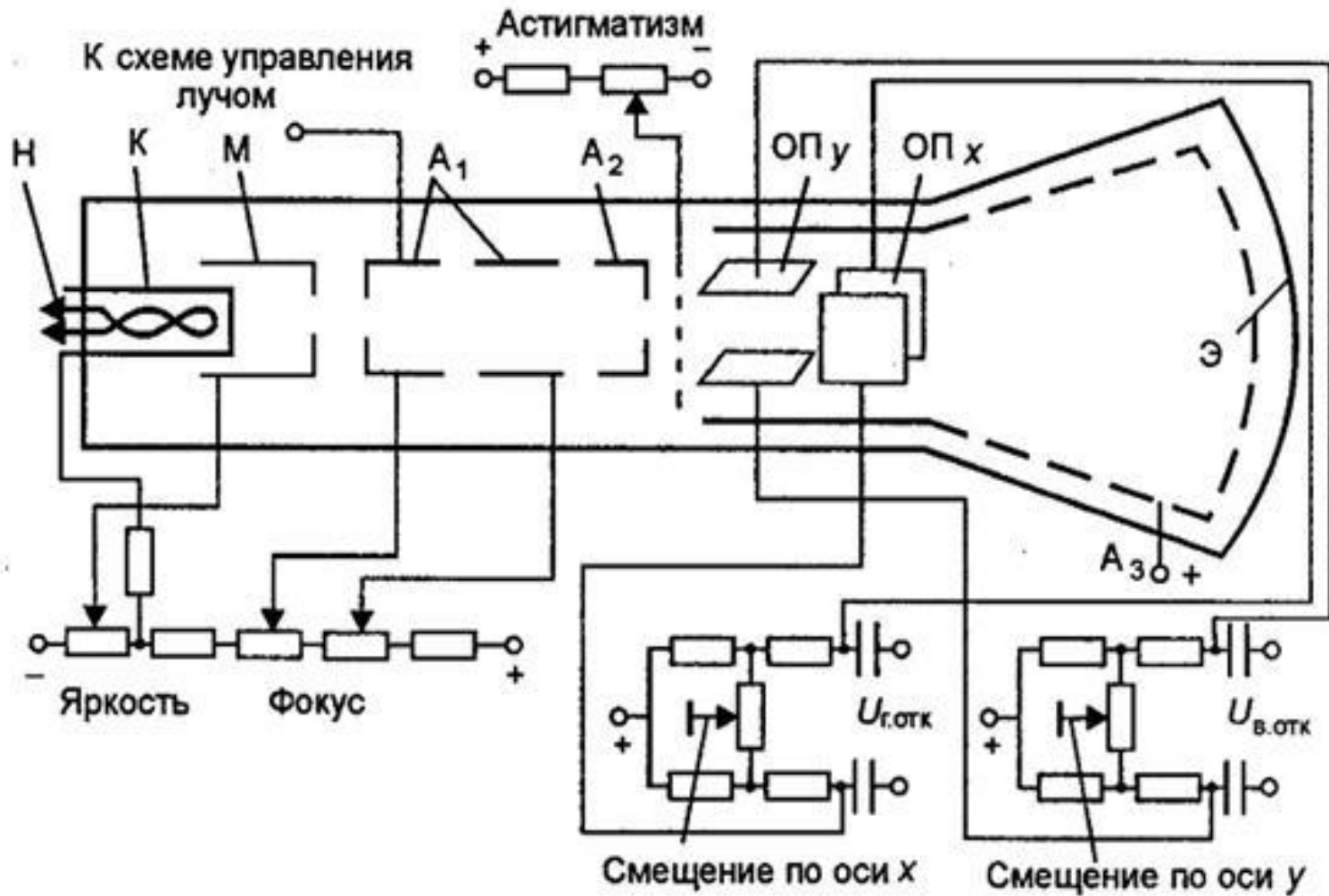
Сигма дельта АЦП



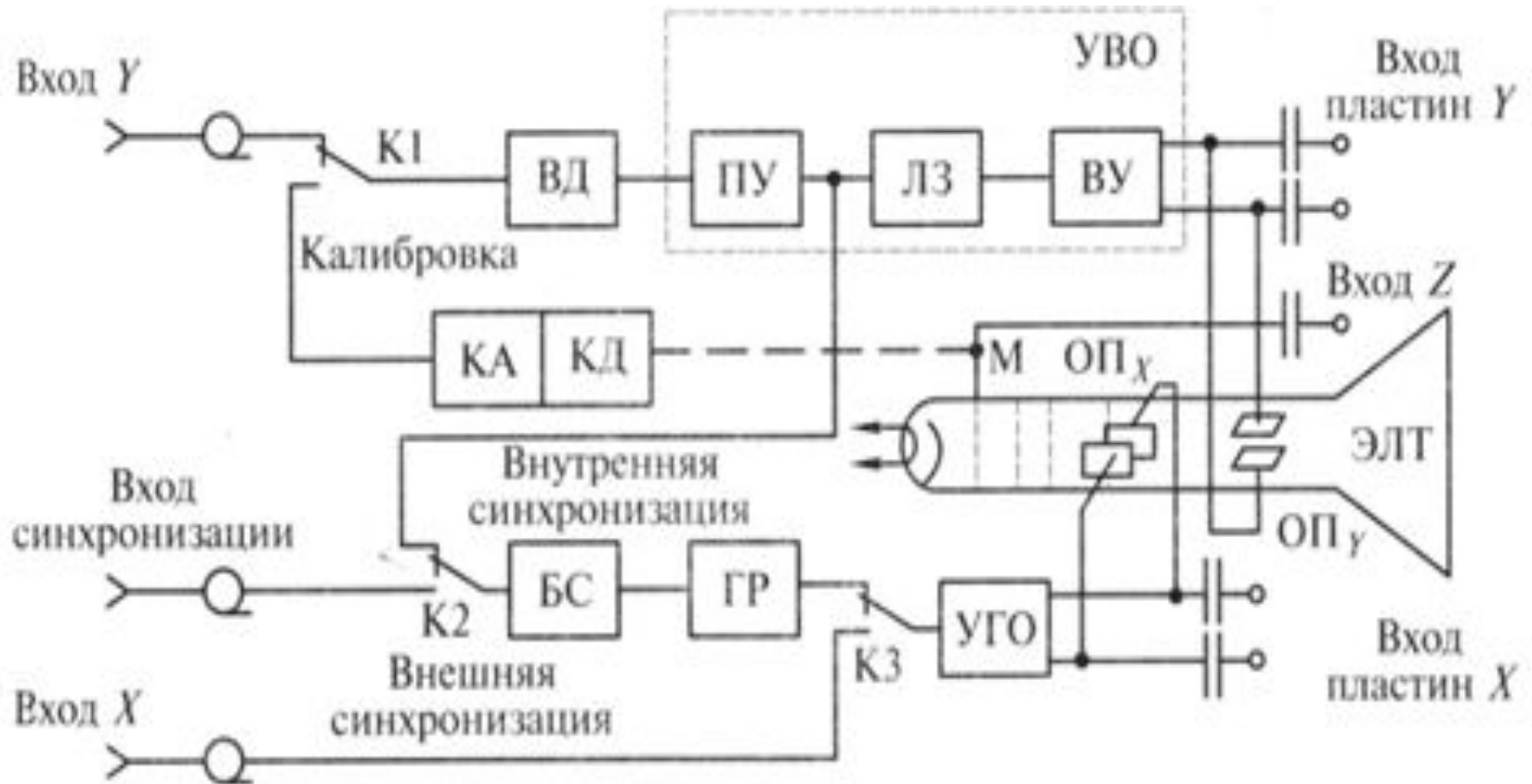
ВРЕМЕННЫЕ ДИАГРАММЫ

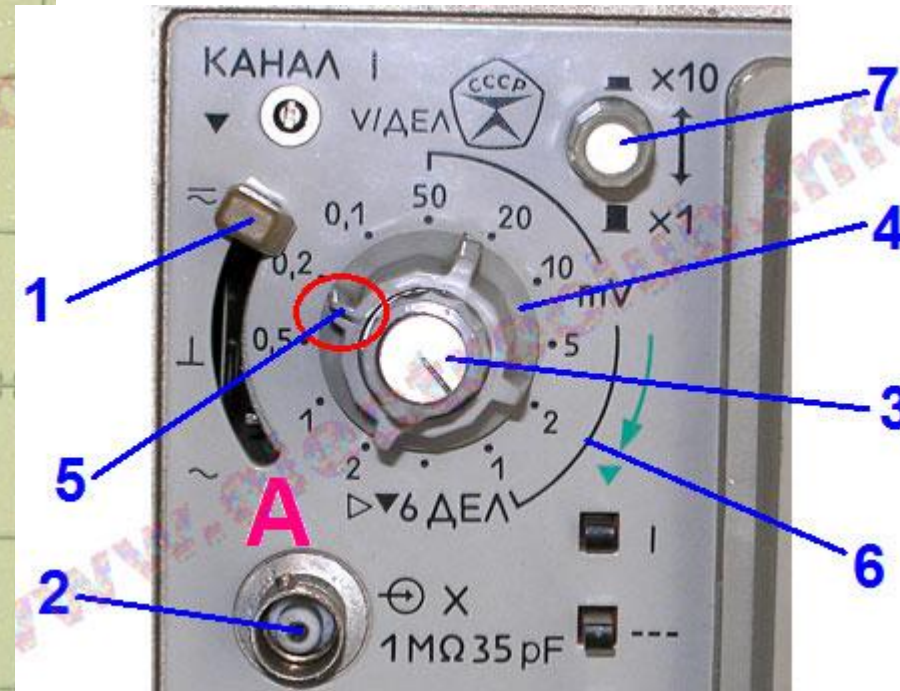
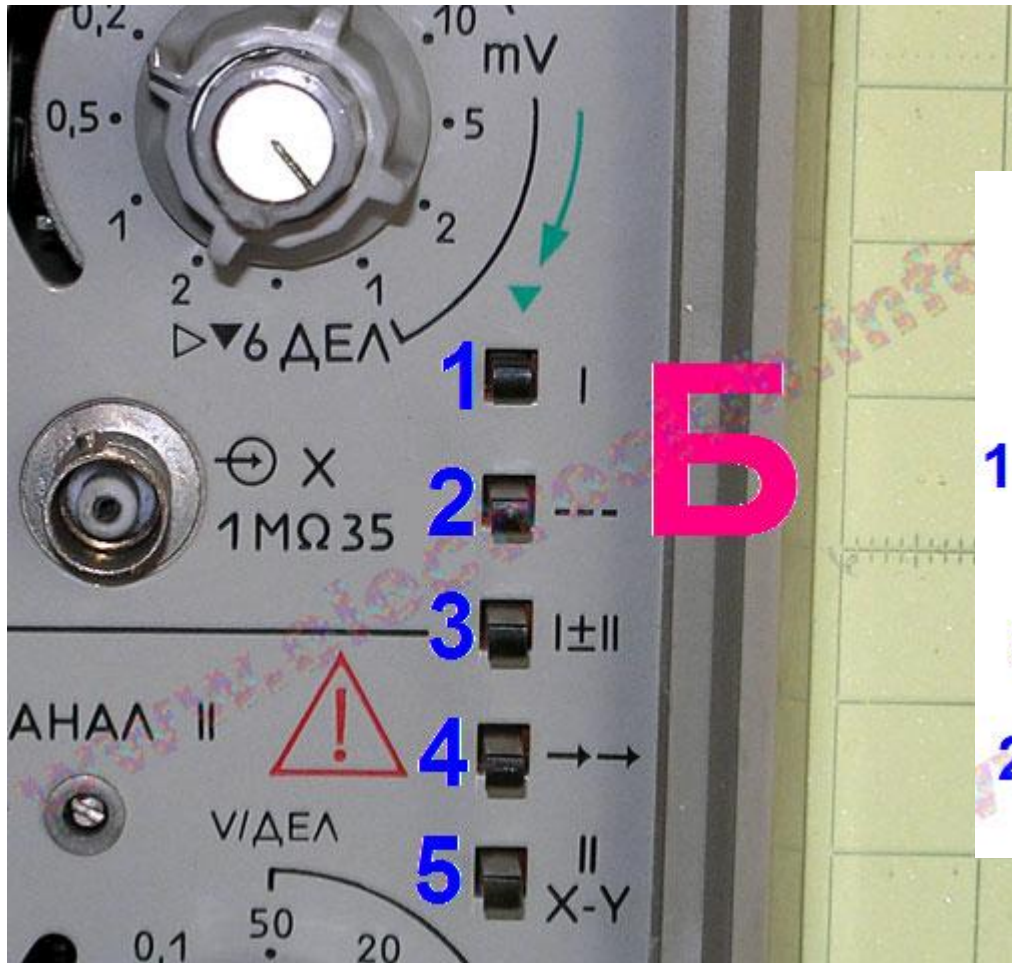


Электронно-лучевая трубка

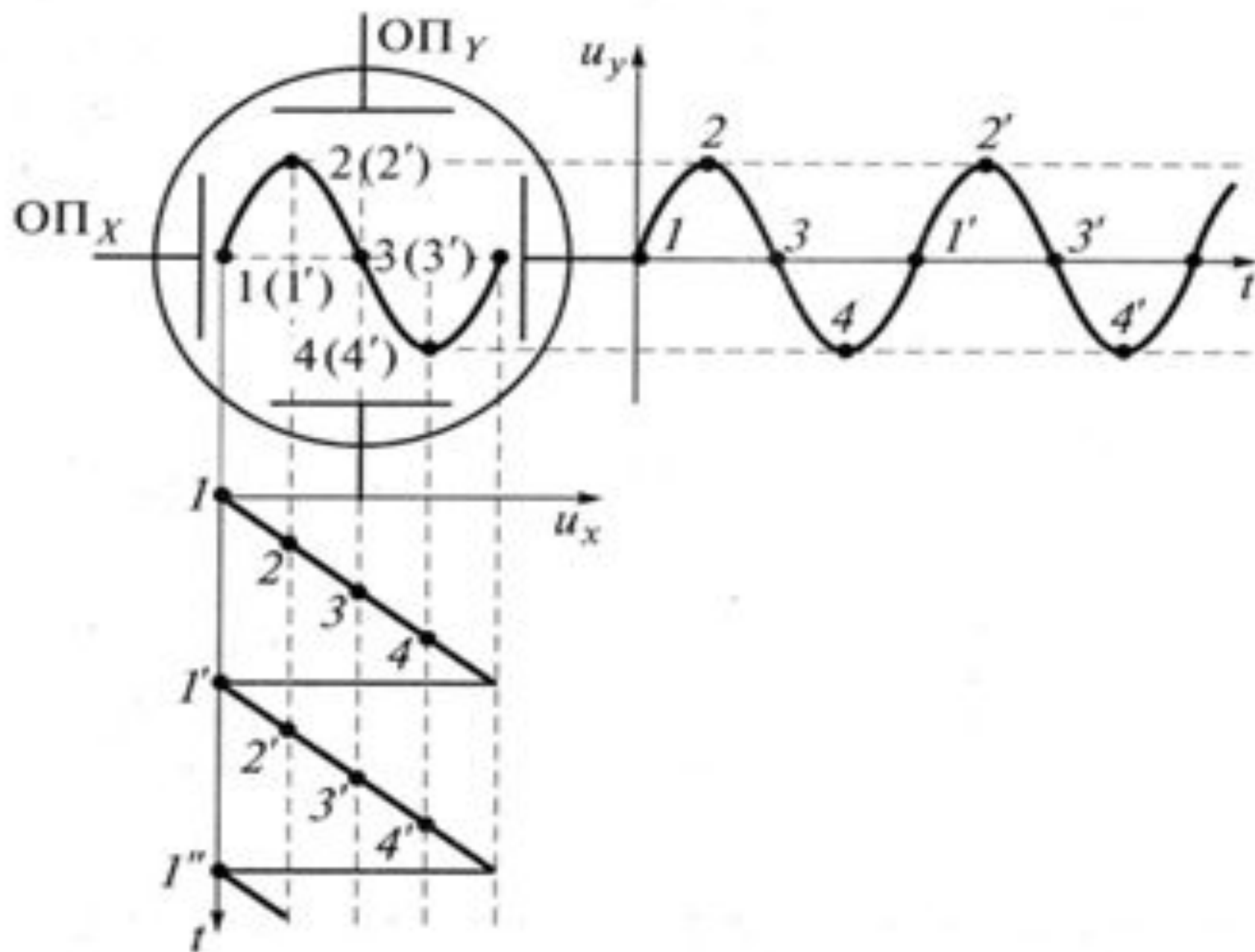


Структурная схема осциллографа

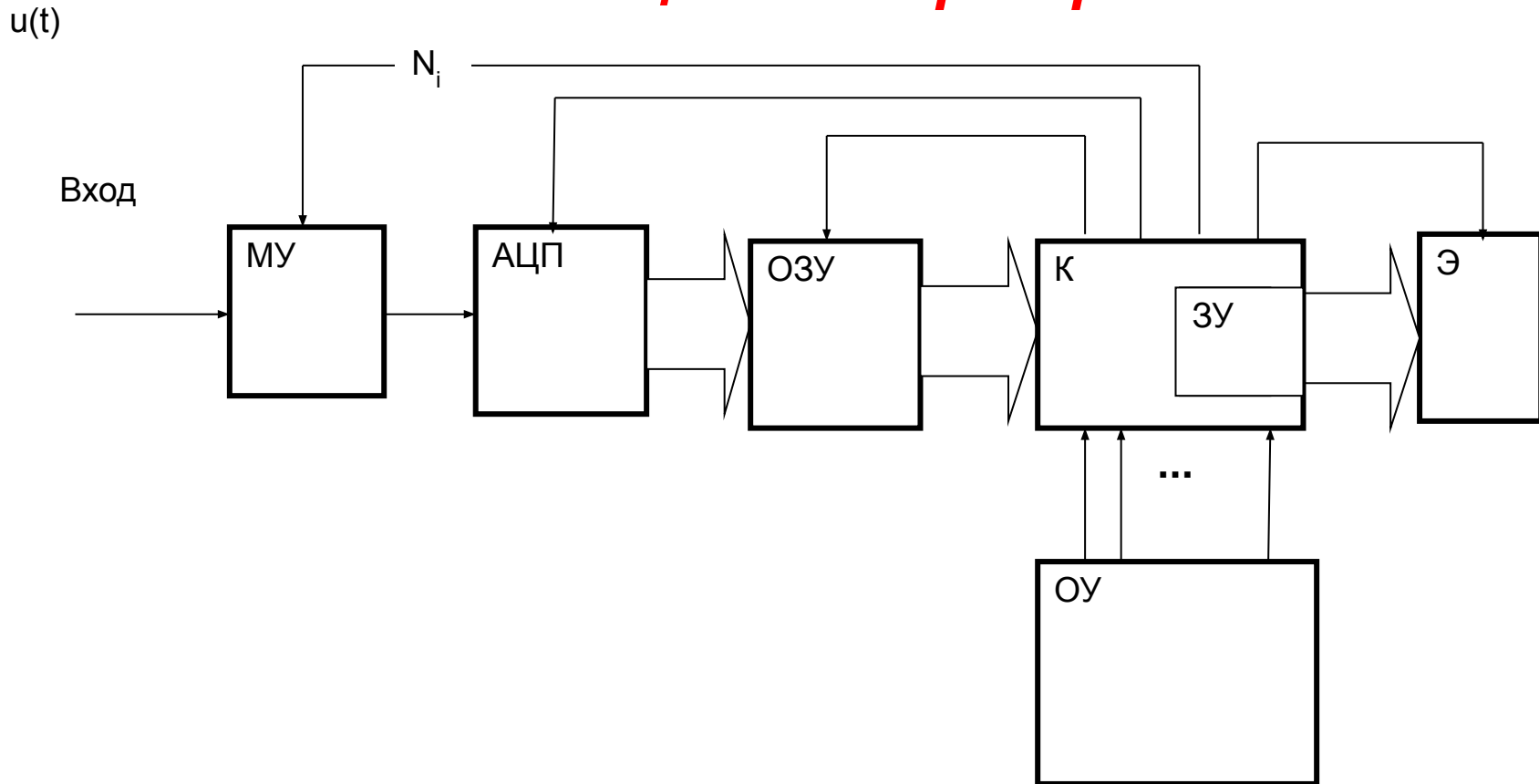








Структура цифрового осциллографа



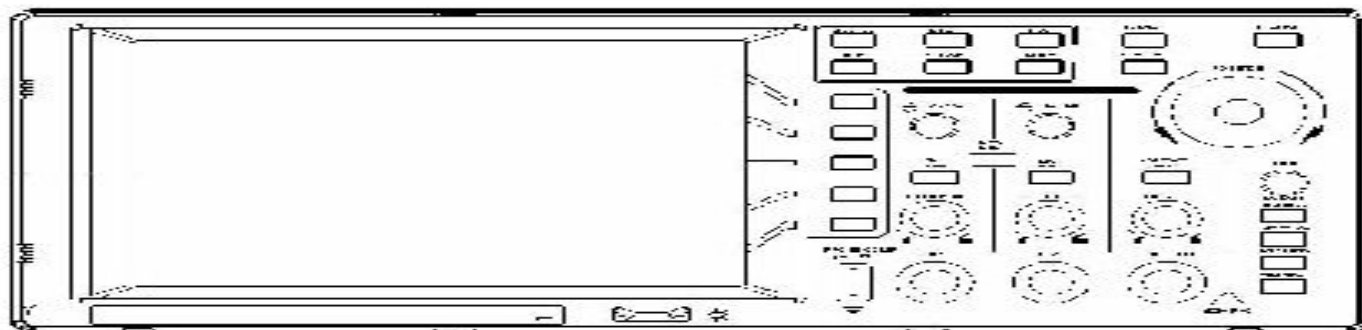


Рисунок 1. Передняя панель осциллографов серии PDS

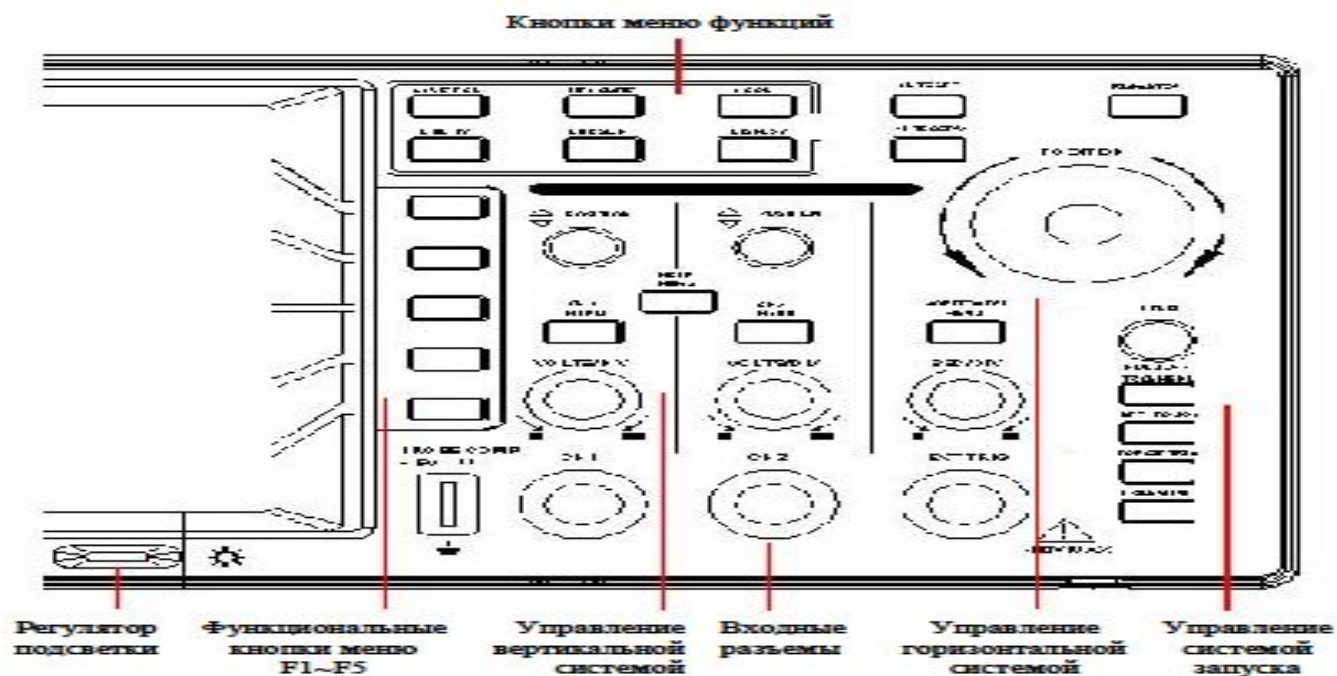


Рисунок 2. Органы управления осциллографов серии PDS

Строскопический осциллограф

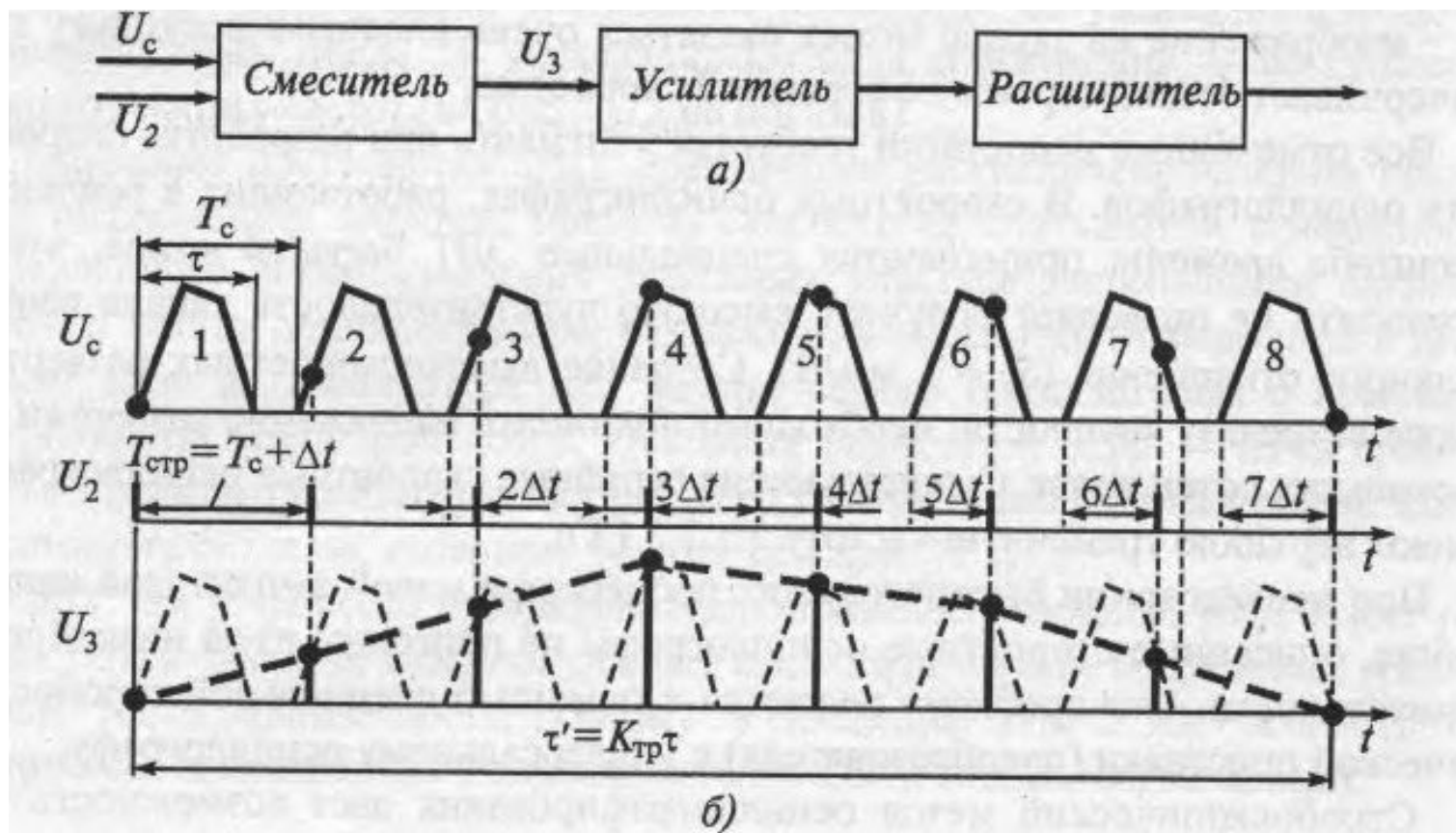
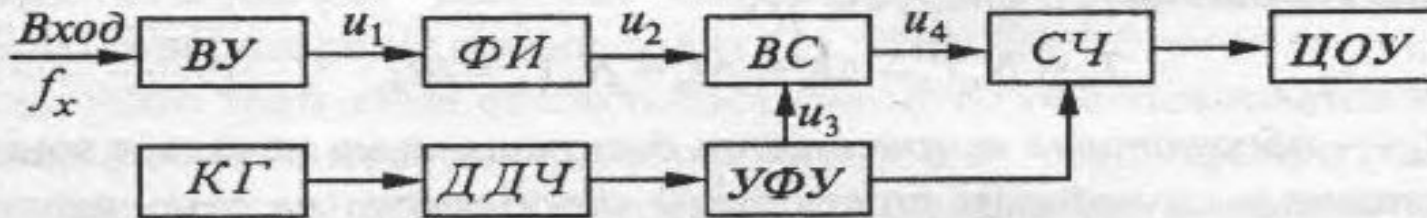
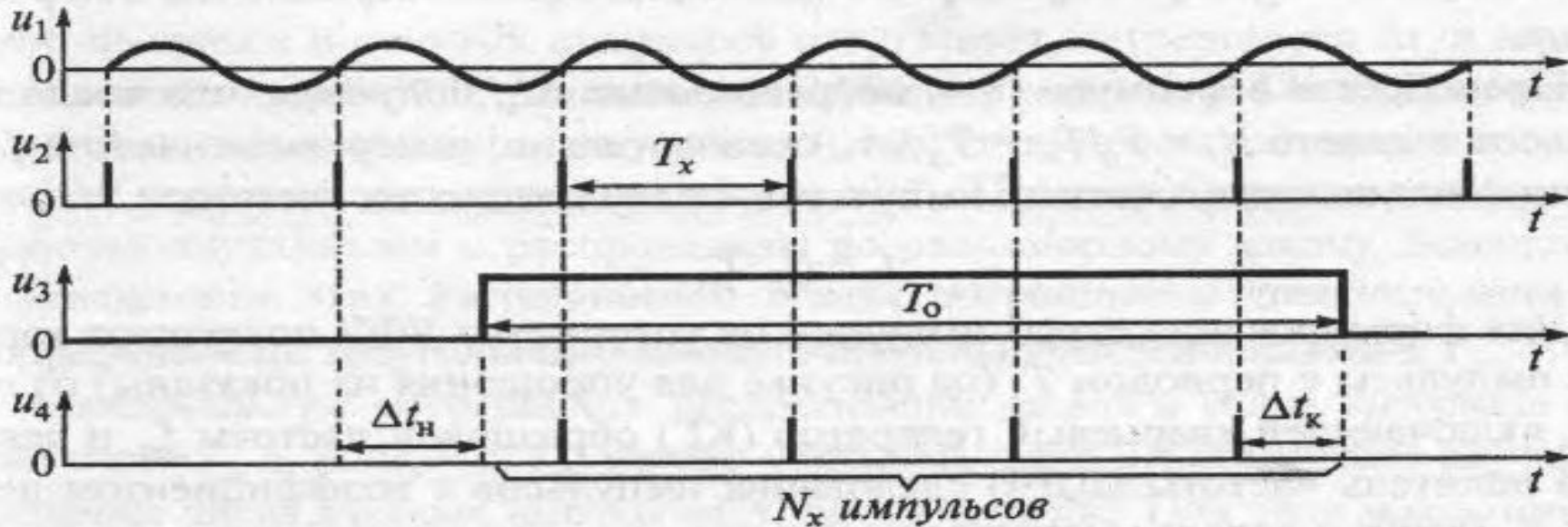


рис. 7.13. Принцип работы преобразователя стробоскопического осциллографа.

Цифровой частотомер



а)

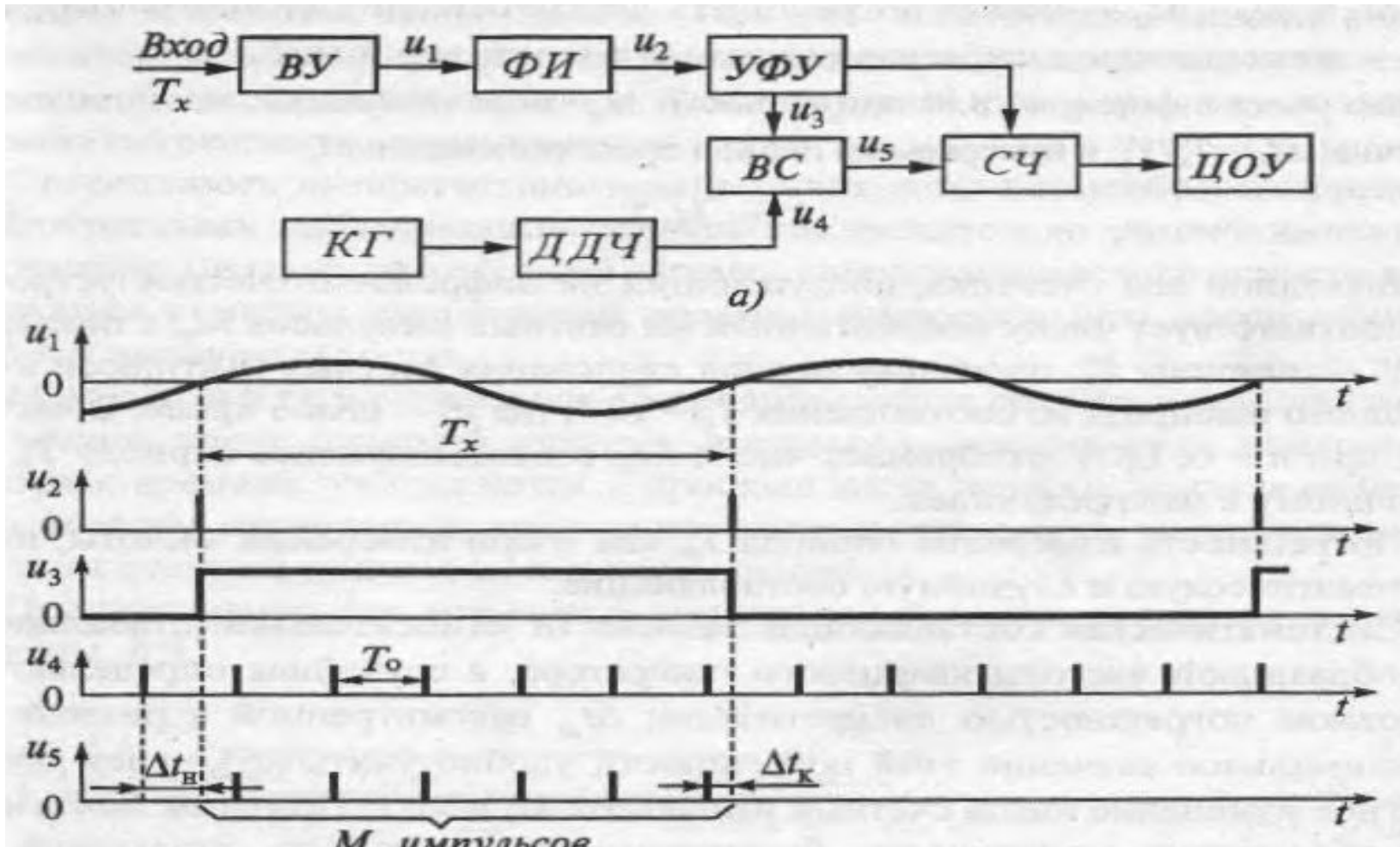


б)

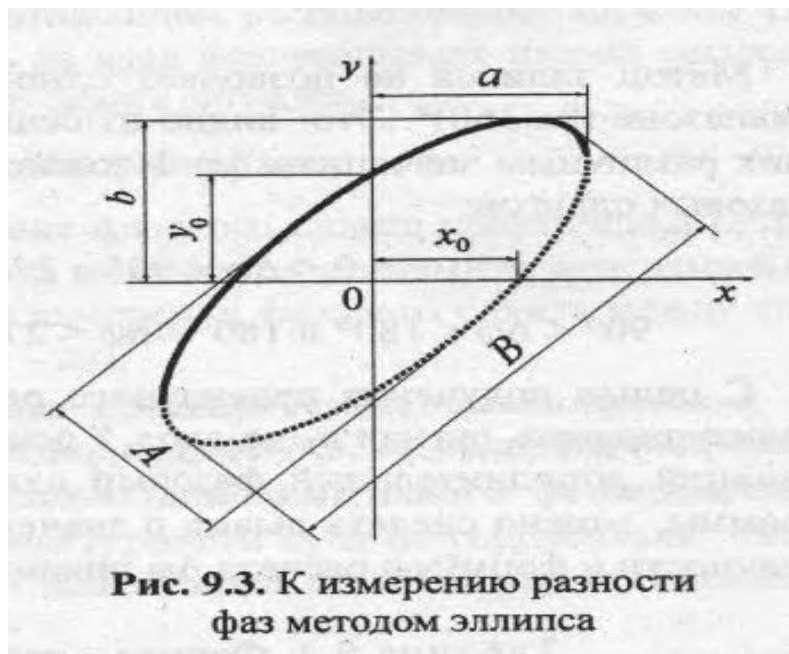
Рис. 8.7. Цифровой частотомер:

а — структурная схема; б — временные диаграммы

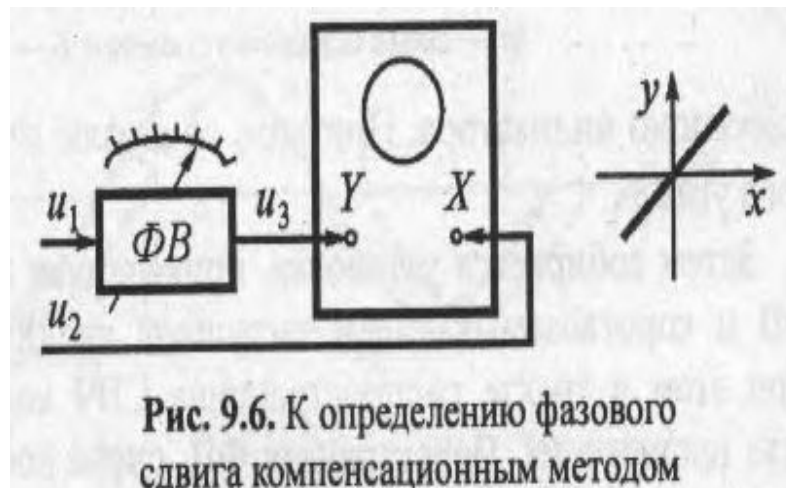
Измерение временных интервалов



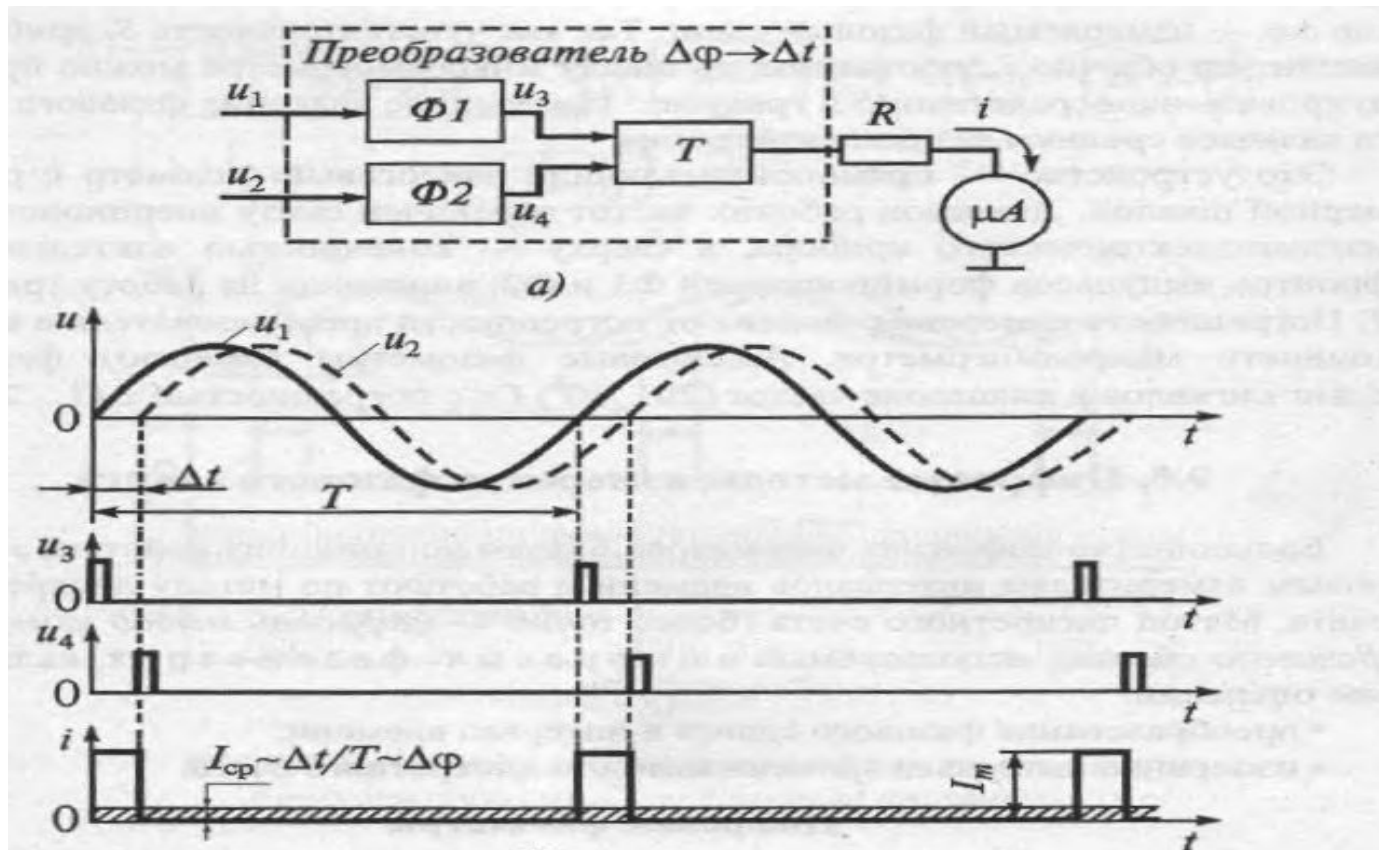
Метод эллипса



Компенсационный метод



Преобразователь разность фаз-интервал времени



Фазометр дискретного счета

