

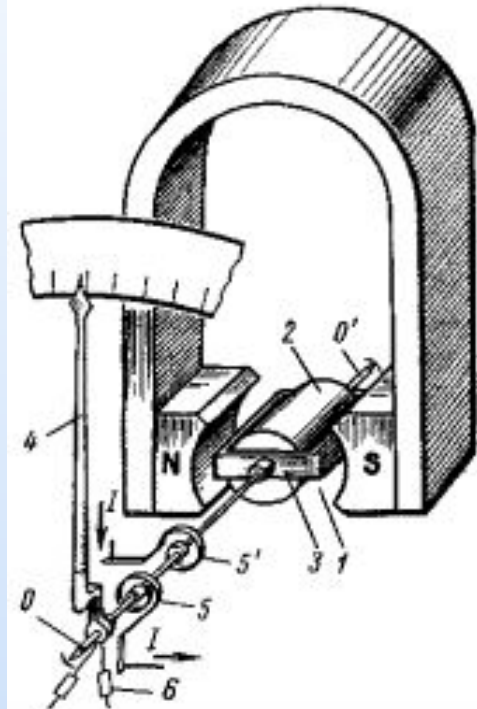


Лекция №14

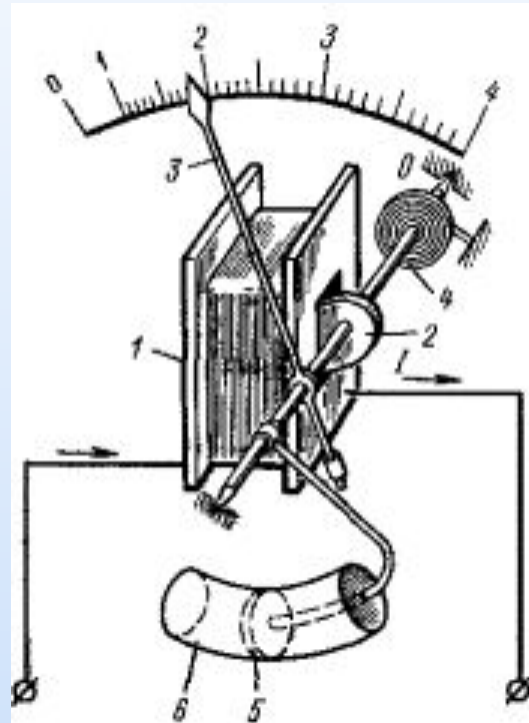
Особенности построения аналоговых и цифровых электроизмерительные приборы

Системы электроизмерительных приборов непосредственной оценки

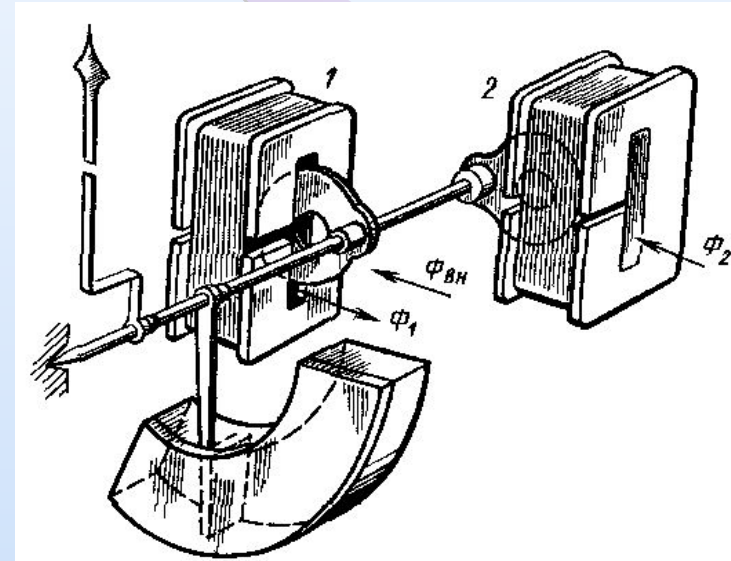
Магнитоэлектрическая
система



Электромагнитная
система

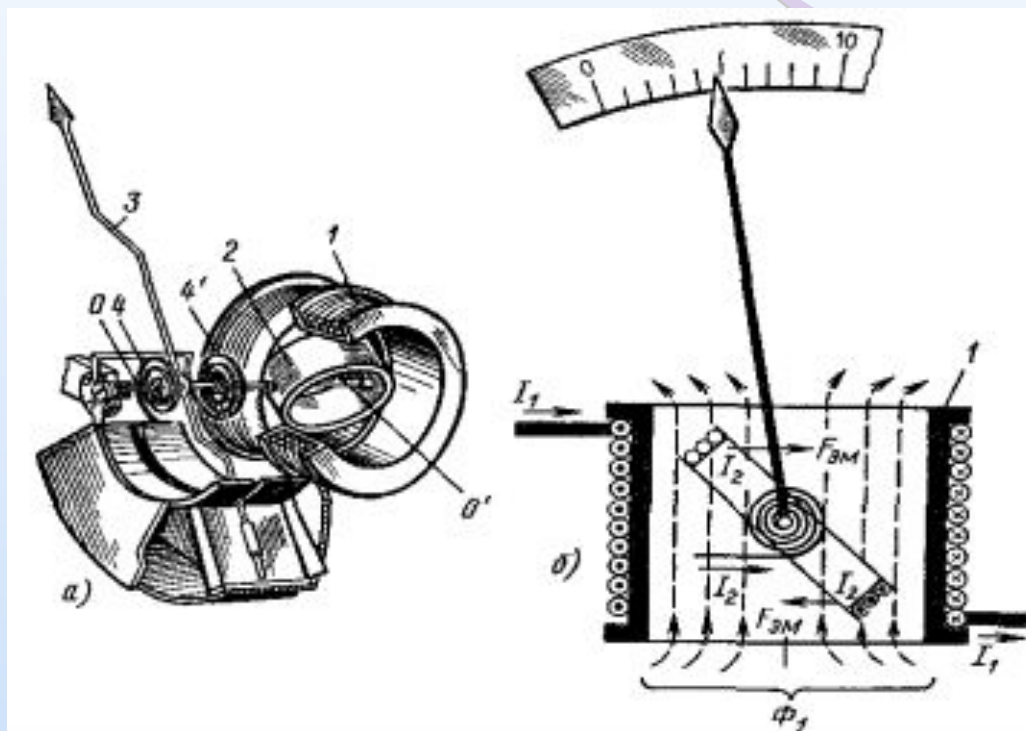


Пример астатического
прибора с воздушным
демпфером



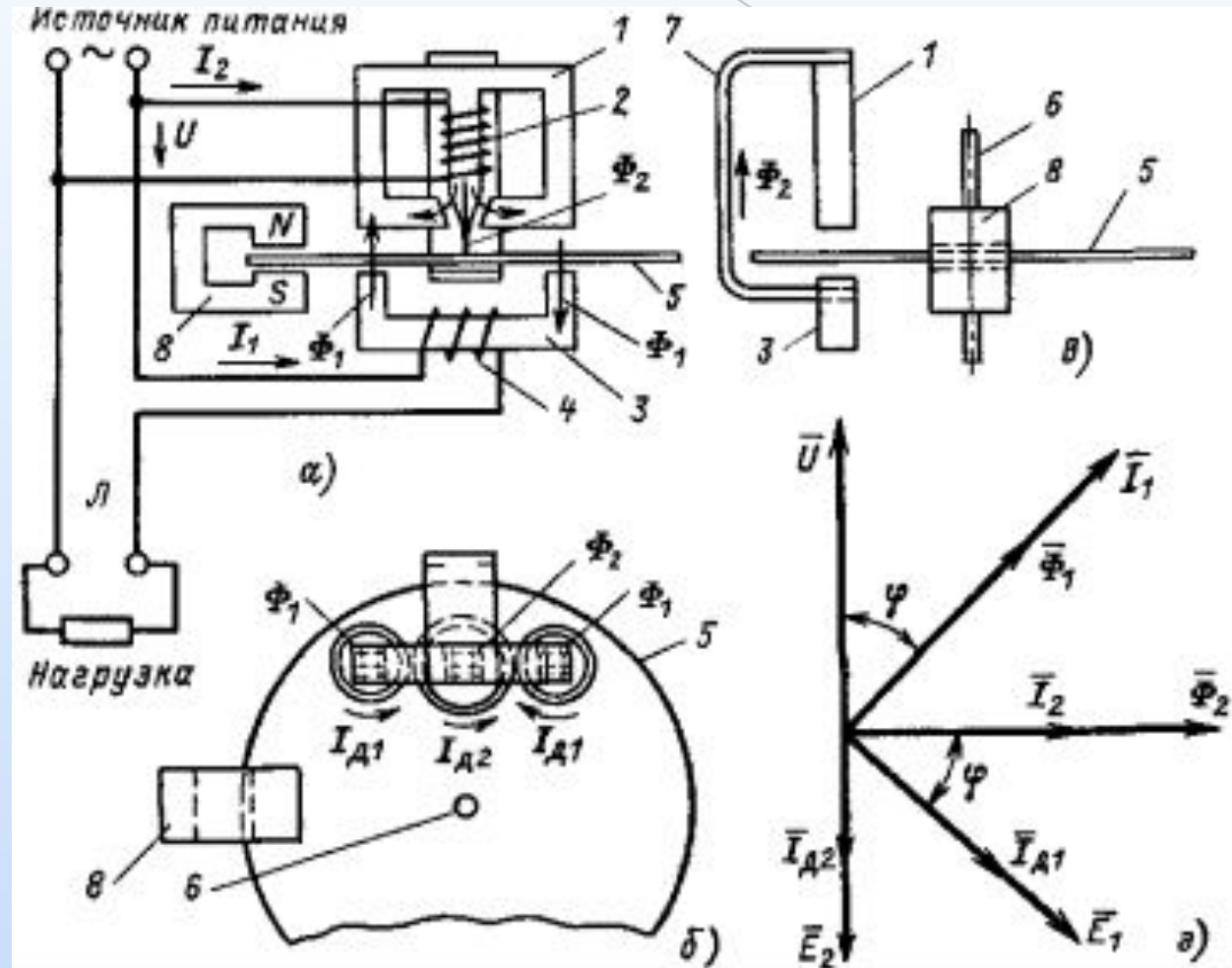
Системы электроизмерительных приборов непосредственной оценки

Электродинамическая система



Системы электроизмерительных приборов непосредственной оценки

Индукционная система



Номинальные величины и постоянные приборов

Номинальные величины приборов

Наибольшие значения напряжений, токов и мощностей, которые могут быть измерены приборами, называются **номинальными напряжениями** $U_{\text{ном}}$, **токами** $I_{\text{ном}}$ и **мощностями** $P_{\text{ном}}$ соответственно вольтметров, амперметров и ваттметров.

Номинальная мощность ваттметра указывается не всегда. Для ваттметра номинальное напряжение представляет собой наибольшее напряжение, на которое может быть включена обмотка напряжения; номинальным током является наибольший ток, на который рассчитана последовательная обмотка. Номинальная мощность ваттметра $P_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} I_{\text{ном}}$.

Постоянные приборов

Постоянная (цена деления) прибора представляет собой значение измеряемой величины, вызывающее отклонение подвижной части прибора на одно деление шкалы. Постоянные вольтметра, амперметра и ваттметра могут быть определены следующим образом:

$$C_U = U_{\text{ном}} / N, \text{ вольт на одно деление;}$$

$$C_I = I_{\text{ном}} / N, \text{ ампер на одно деление;}$$

$$C_P = U_{\text{ном}} I_{\text{ном}} / N, \text{ ватт на одно деление;}$$

где N — число делений шкалы соответственно вольтметра, амперметра и ваттметра.

Чувствительность приборов

Под **чувствительностью** приборов понимают число делений шкалы, приходящееся на единицу измеряемой величины. Чувствительность вольтметра, амперметра и ваттметра может быть определена следующим образом:

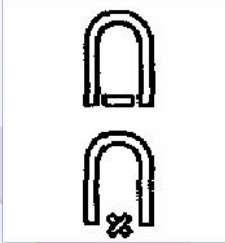
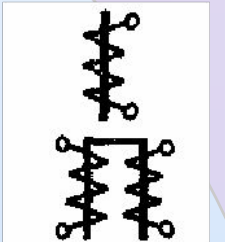
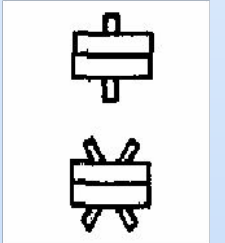
$$S_U = N / U_{\text{ном}}, \text{ делений на вольт; } S_I = N / I_{\text{ном}}, \text{ делений на ампер; } S_P = \frac{N}{P} = \frac{N}{U_{\text{ном}} I_{\text{ном}}}, \text{ делений на Вт.}$$

Очевидно, что $S = 1/C$.

Условные обозначения электроизмерительных приборов

Род измеряемой величины	Название прибора	Условное Обозначение
Ток	Амперметр	A
	Миллиамперметр	mA
	Микроамперметр	μ A
Напряжение	Вольтметр	V
	Милливольтметр	mV
Электрическая мощность	Ваттметр	W
	Киловаттметр	kW
Электрическая энергия	Счетчик киловатт-часов	kWh
Сдвиг фаз	Фазометр	φ
Частота	Частотомер	Hz
Электрическое сопротивление	Омметр	Ω
	Мегаомметр	M Ω

Условные обозначения системы приборов

Система прибора	Условное обозначение
Магнитоэлектрическая: с подвижной рамкой и механической противодействующей силой с подвижными рамками без механической противодействующей силы (логометр)	
Электромагнитная: с механической противодействующей силой без механической противодействующей силы (логометр)	
Электродинамическая (без экрана): с механической противодействующей силой без механической противодействующей силы (логометр)	

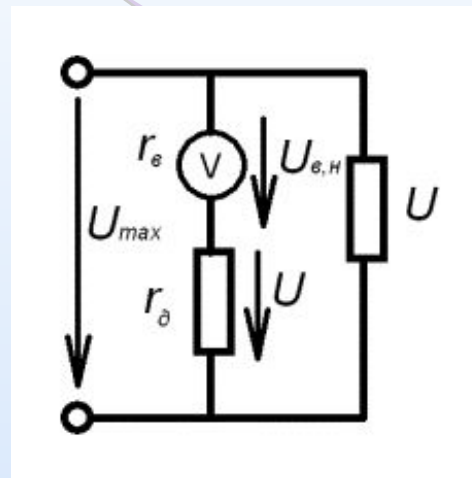
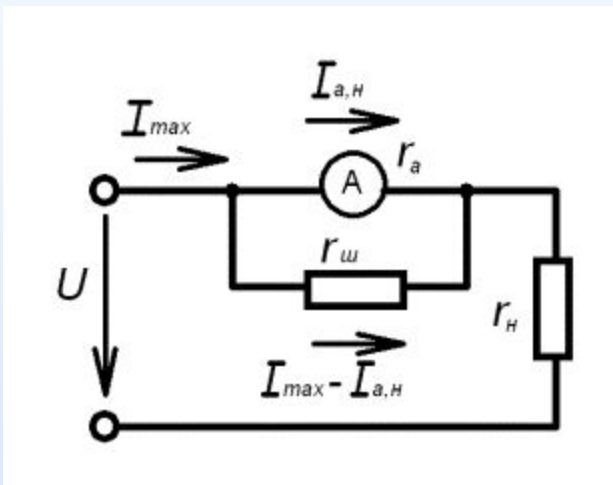
Условные обозначения электроизмерительных приборов

Условные обозначения рода тока, числа фаз, класса точности, испытательного напряжения изоляции, рабочего положения, исполнения в зависимости от условий эксплуатации, категории прибора по степени защищенности от внешних полей

Условное обозначение	Расшифровка условного обозначения
	Прибор постоянного тока
	Прибор постоянного и переменного тока
	Прибор переменного тока
	Прибор трехфазного тока
1,5	Прибор класса точности 1,5
	Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ
	Осторожно! Прочность изоляции измерительной цепи не соответствует нормам
$\angle 60^\circ$	Рабочее положение шкалы наклонное, под углом 60°
	Рабочее положение шкалы горизонтальное
	Рабочее положение шкалы вертикальное
A, B, B	Исполнение прибора в зависимости от условий эксплуатации (свойств окружающей среды)
	Категория прибора по степени защищенности от внешних магнитных полей

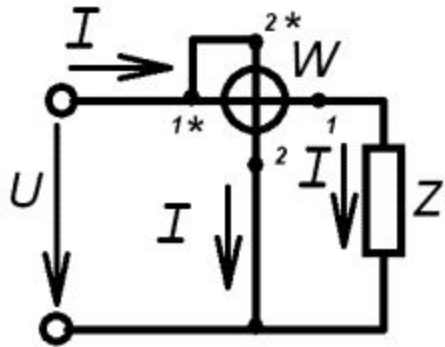
Измерение электрических величин

Измерение тока и напряжения

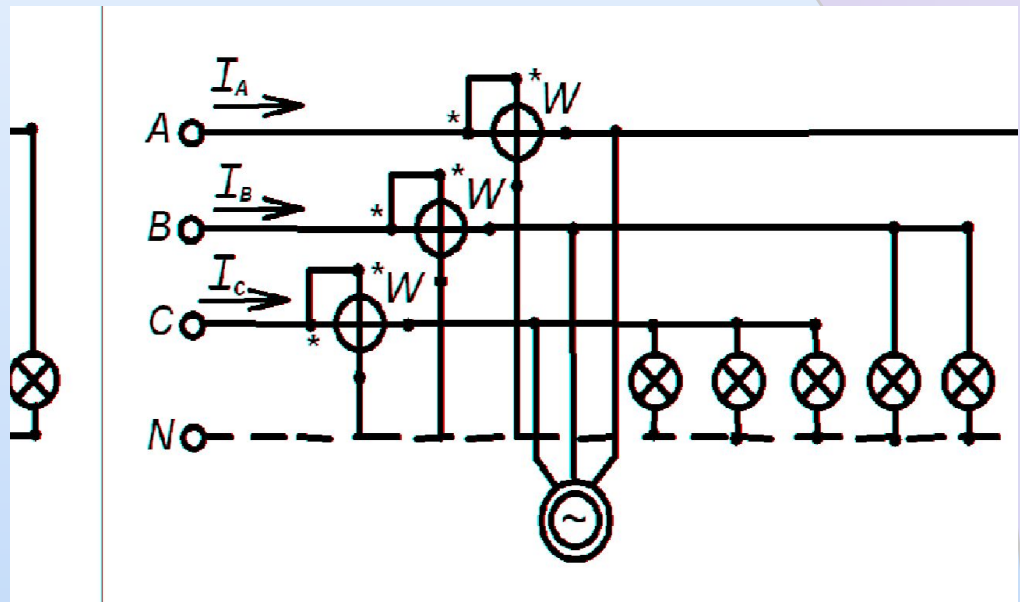
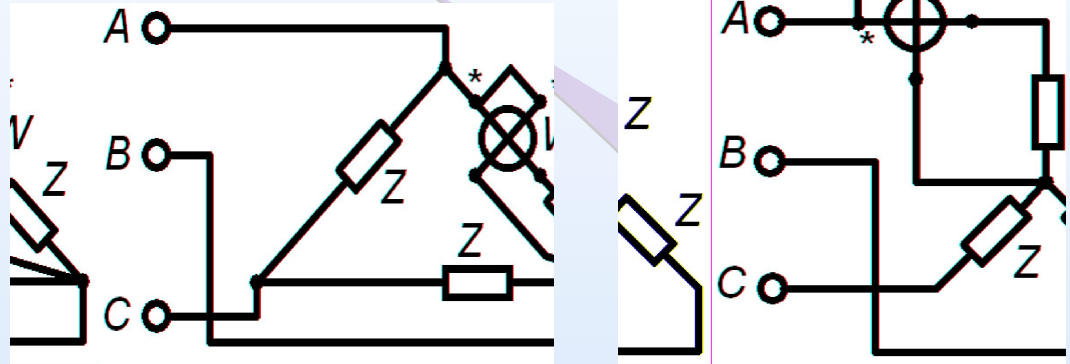


Измерение мощности и энергии в цепях переменного тока

Измерение активной мощности в цепях однофазного тока

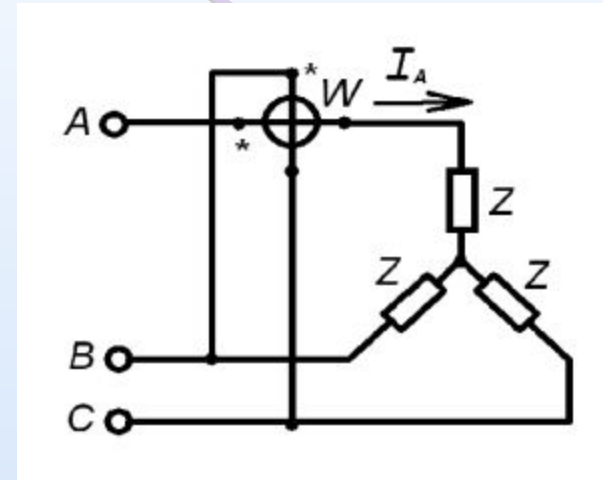
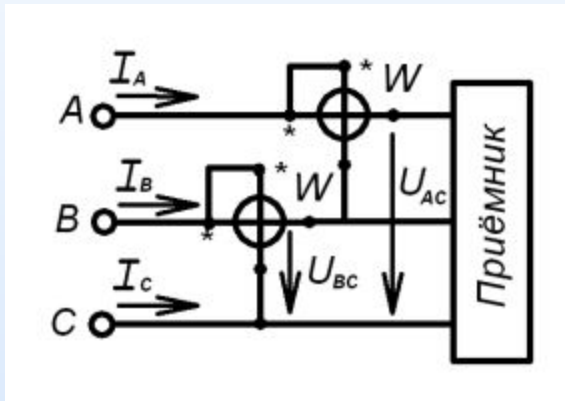


Измерение активной и реактивной мощностей в цепях трехфазного тока

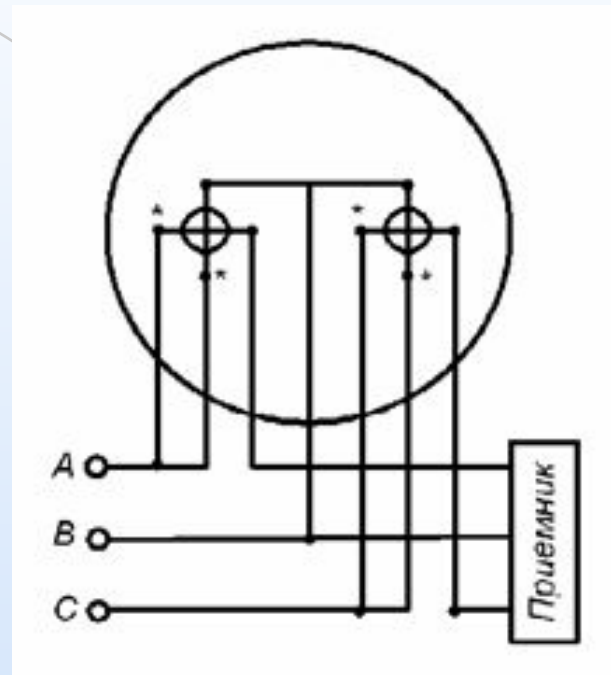
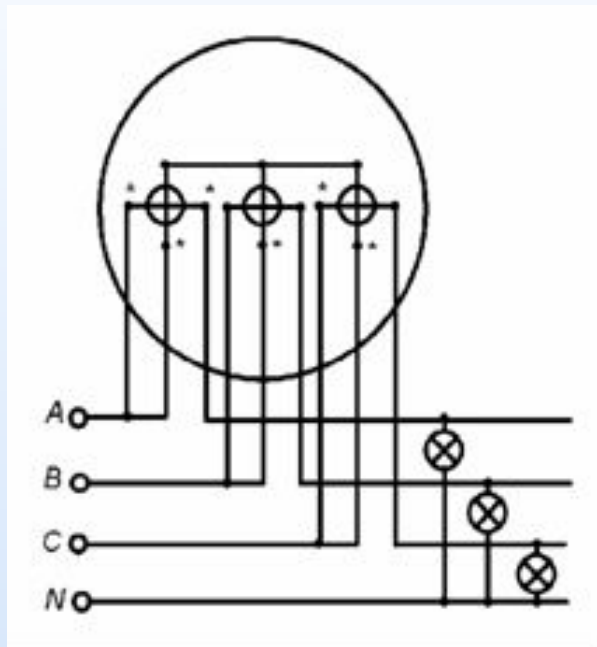


Измерение мощности и энергии в цепях переменного тока

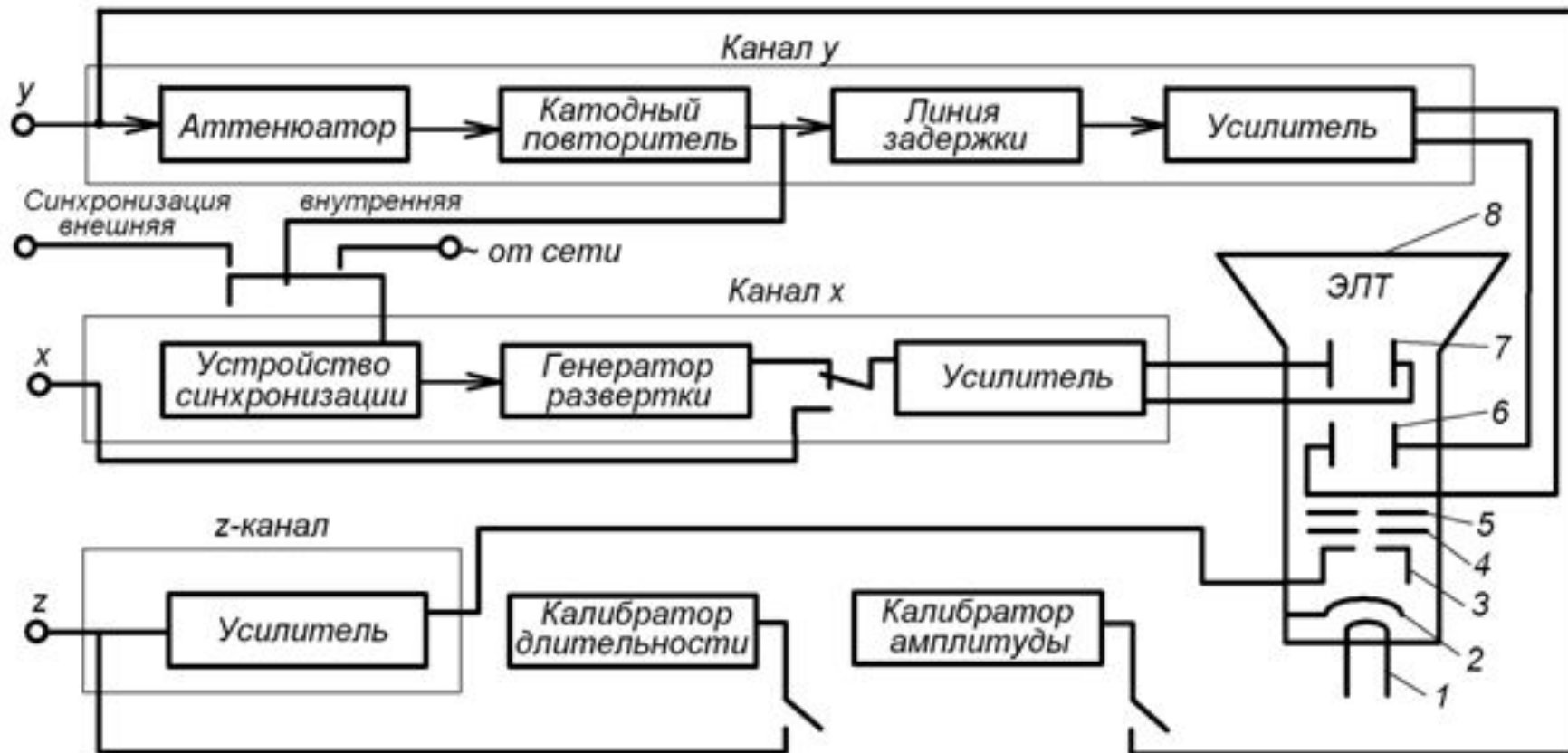
Измерение активной и реактивной мощностей в цепях трехфазного тока



Измерение электрической энергии в цепях переменного тока



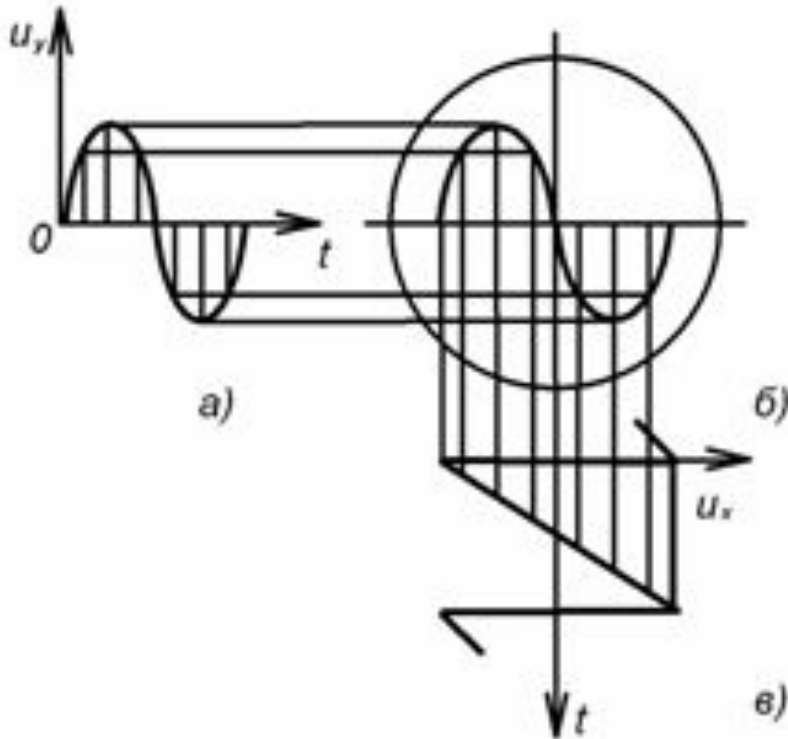
Функциональная схема электронно-лучевого осциллографа



Назначение: визуальное наблюдение, измерение и регистрация формы и параметров электрических сигналов в диапазоне частот от постоянного тока до десятков МГц.

Классификация: универсальные, запоминающие, специальные и др.;
одно-, двух- и многолучевые.

Управление лучом ЭЛТ



Управление лучом ЭЛТ осуществляется посредством трех каналов управления x , y , z , которые обеспечивают получение развернутого изображения исследуемого электрического сигнала в функции времени.

Канал y осуществляет вертикальное отклонение луча по оси y системы координат и непосредственно связан с исследуемым сигналом. Канал x обеспечивает горизонтальное отклонение луча по оси времени x системы координат. Канал z управляет яркостью луча.

Аналоговые электронные приборы

Функциональная схема универсального аналогового электронного вольтметра

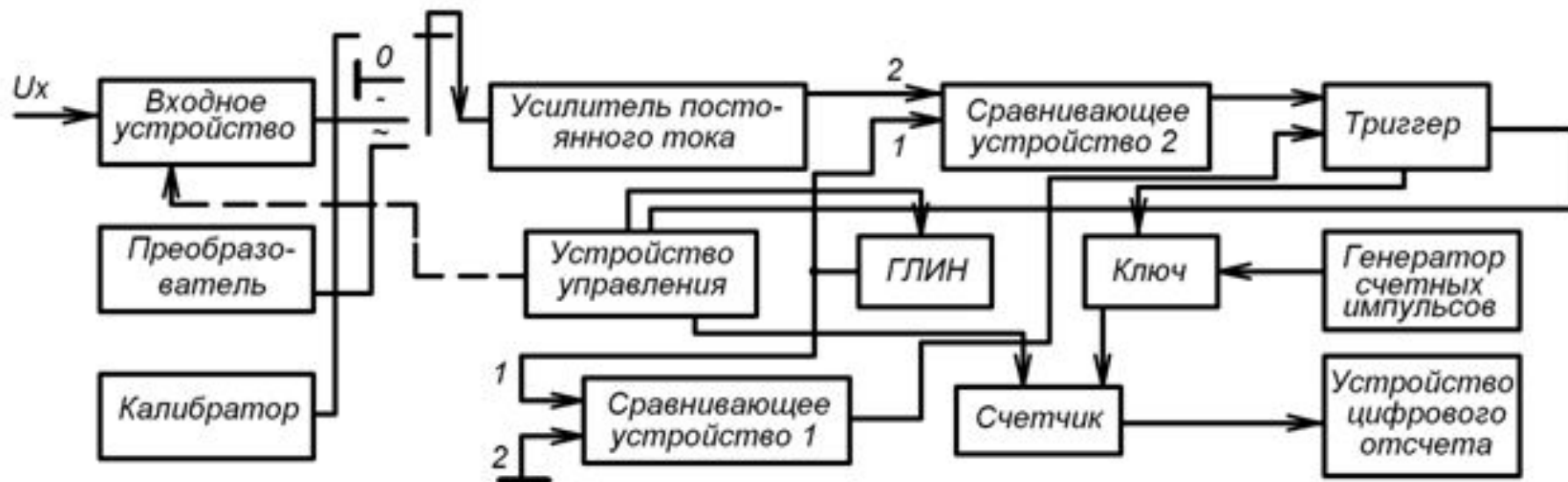


В радиоэлектронных цепях к вольтметрам и другим измерительным приборам предъявляются такие требования, как ничтожно малое потребление мощности, частотный диапазон измеряемого напряжения от единиц герц до сотен мегагерц, и в то же время слабая зависимость показаний от частоты измеряемого напряжения, высокая чувствительность и т. д. Этим требованиям не соответствуют стрелочные вольтметры, которые осуществляют непосредственную оценку (прямой отсчет) измеряемого напряжения. Перечисленным требованиям удовлетворяют **аналоговые электронные вольтметры**, использующие усилители измеряемых напряжений.

С учетом назначения электронные вольтметры подразделяются на вольтметры: *постоянного и переменного тока, импульсного напряжения, универсальные* и др.

Цифровые измерительные приборы

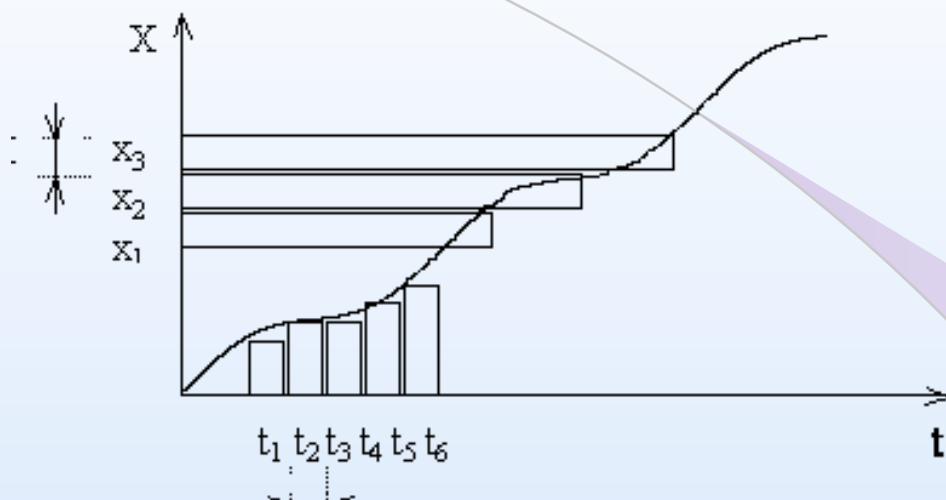
Функциональная схема электронного цифрового вольтметра



Особенностью измерительных приборов со стрелочным указателем является некоторая субъективность в определении положения стрелки на шкале прибора. **Цифровые измерительные приборы (ЦИП)** с цифровыми индикаторами лишены подобного недостатка. Они широко применяются для измерения частоты, интервалов времени, напряжения и т.д. ЦИП преобразуют измеряемую величину в дискретные (квантованные) значения, осуществляют цифровое кодирование и выдачу результатов измерений в цифровом виде.

Преимущества ЦИП: широкий диапазон измеряемых величин, высокая точностью измерений, возможность представления результатов в цифровом виде, запись и хранение информации с последующей обработкой и ее использованием.

Цифровые измерительные приборы



Непрерывная величина $X(t)$ – это величина, которая может иметь в заданном интервале времени при бесконечно большом числе моментов времени бесконечно большое число значений.

Дискретизация – это операция преобразования непрерывной величины в дискретную, при которой сохраняется ее мгновенные значения только в определенные моменты времени (моменты дискретизации).

Шаг дискретизации – это промежуток времени Δt между двумя ближайшими моментами дискретизации. Шаг дискретизации может быть постоянным или переменным.

Квантование – это операция преобразования непрерывной величины квантами, т.е. замена ее мгновенных значений ближайшими фиксированными значениями.

Шаг квантования – это разность между двумя соседними значениями ΔX .



Цифровые измерительные приборы

Цифровое кодирование – это операция условного представления числового значения величины цифровым кодом, т.е. последовательностью цифр, подчиняющихся определенному закону. Причем с помощью этого закона условно отображают числовые значения измеряемой величины.

Цифровые измерительные приборы автоматически преобразуют непрерывную измеряемую величину или ее аналог к дискретным формам, подвергая цифровому кодированию, и выдают результат измерений в виде цифр. Кроме этого, они осуществляют автоматическое преобразование значений непрерывной измеряемой величины N в ограниченное количество дискретных значений. Фиксированным значением D ставятся в соответствие числа, выражаемые тем или иным кодом K .

Достоинства:

- объективность; удобство отсчета и регистрации результатов измерения; высокая точность (до 0.001%);
- широкий диапазон измерения ($10^{-7} - 10^3$ В);
- высокое быстродействие (до 10^6 измерений в секунду);
- полная автоматизация процессов измерения; возможность связи с ЭВМ;

Недостатки: относительная сложность и большая стоимость.

Цифровые вольтметры

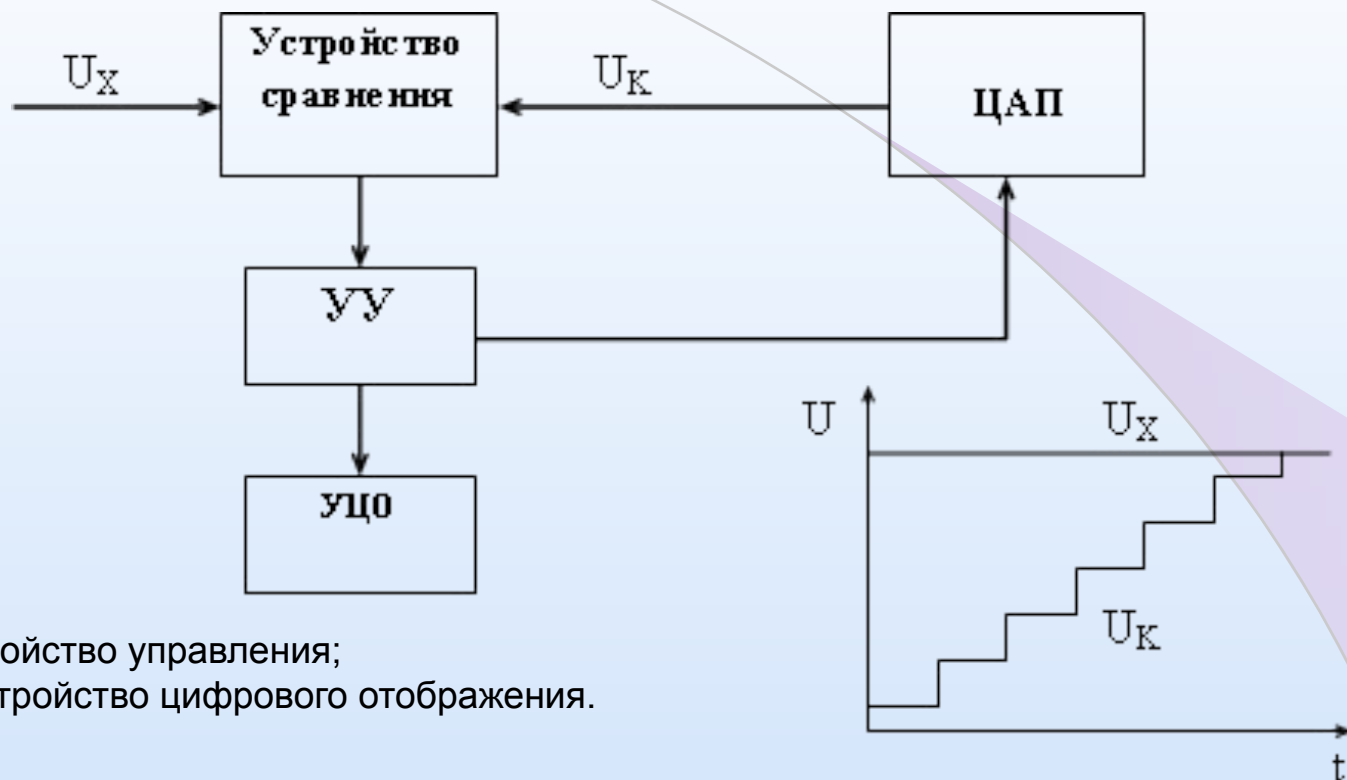
Классификация цифровых вольтметров.

1. По способу преобразования непрерывной величины в дискретную:
 2. По структуре АЦП.
 3. По способу уравнивания.
-
1. Вольтметры с кодоимпульсным, времяимпульсным и частотным преобразованием.
 - *Кодоимпульсное преобразование* – это последовательное сравнение значений измеряемой величины с рядом дискретных значений известной величины, изменяющейся по определенному закону.
 - *Времяимпульсное преобразование* – измеряемая величина U_x преобразуется во временной интервал Δt с последующим заполнением каждого интервала импульсами образцовой частоты.
 - *Частотоимпульсное преобразование* – измеряемая величина U_x преобразуется в частоту f следования импульсов, которые подсчитываются за определенный интервал времени цифровым счетчиком.
 2. Вольтметры прямого и уравнивающего преобразования.
 3. Вольтметры со следящим и развертывающим уравниванием.

Основные технические характеристики:

1. Точность преобразования. Время преобразования. Пределы изменения входной величиной 2. Порог чувствительности или разрешающая способность.
3. Формы представления входной и выходной величины.
4. Помехоустойчивость.

Цифровые вольтметры постоянного тока с кодоимпульсными преобразованиями

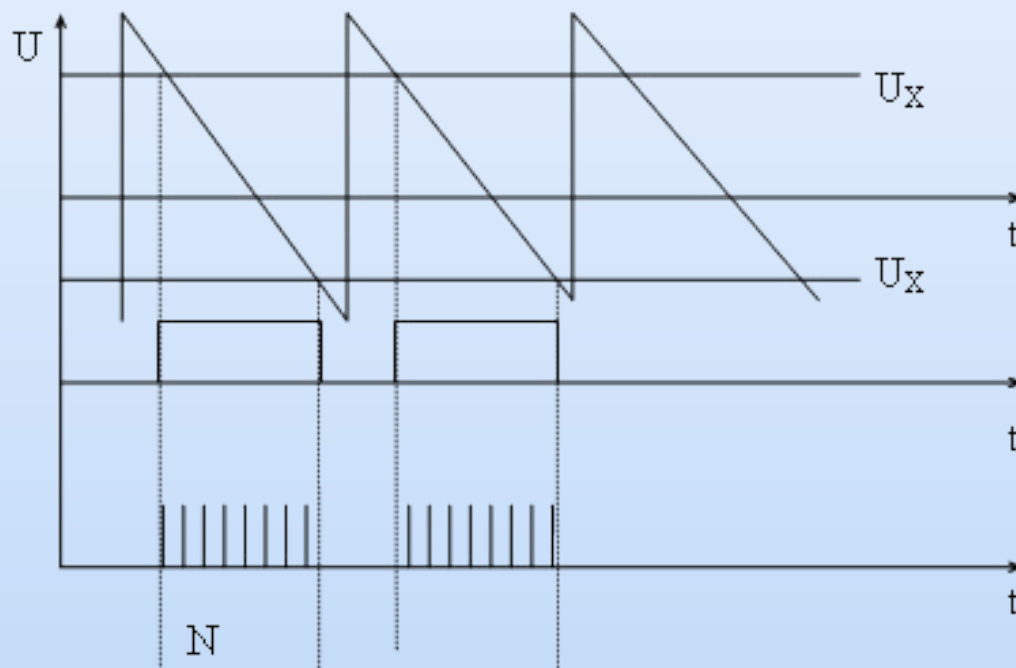
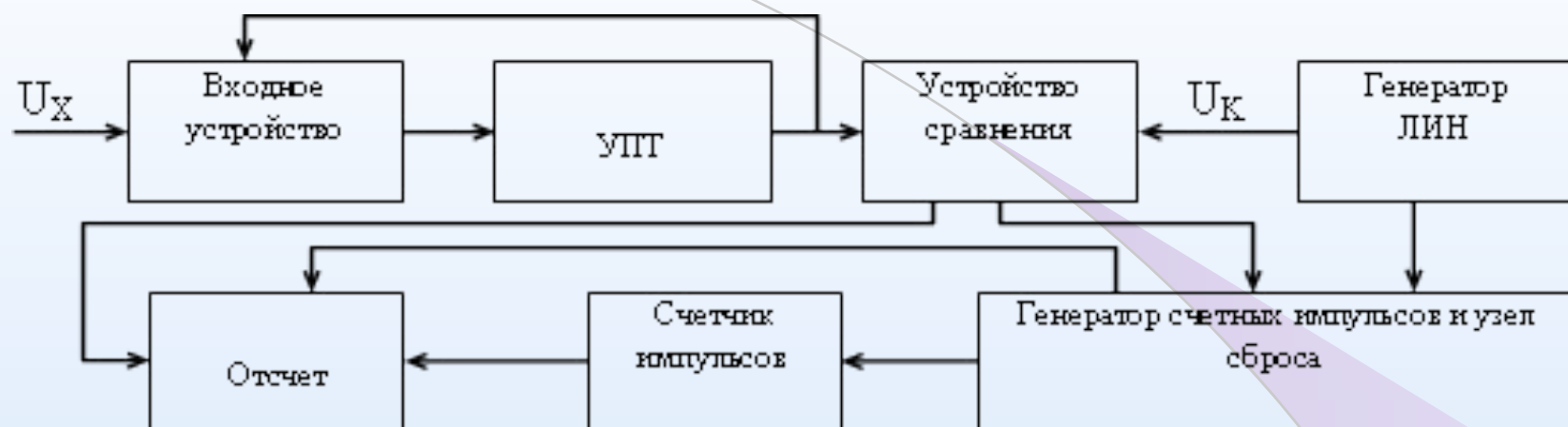


УУ – устройство управления;
УЦО – устройство цифрового отображения.

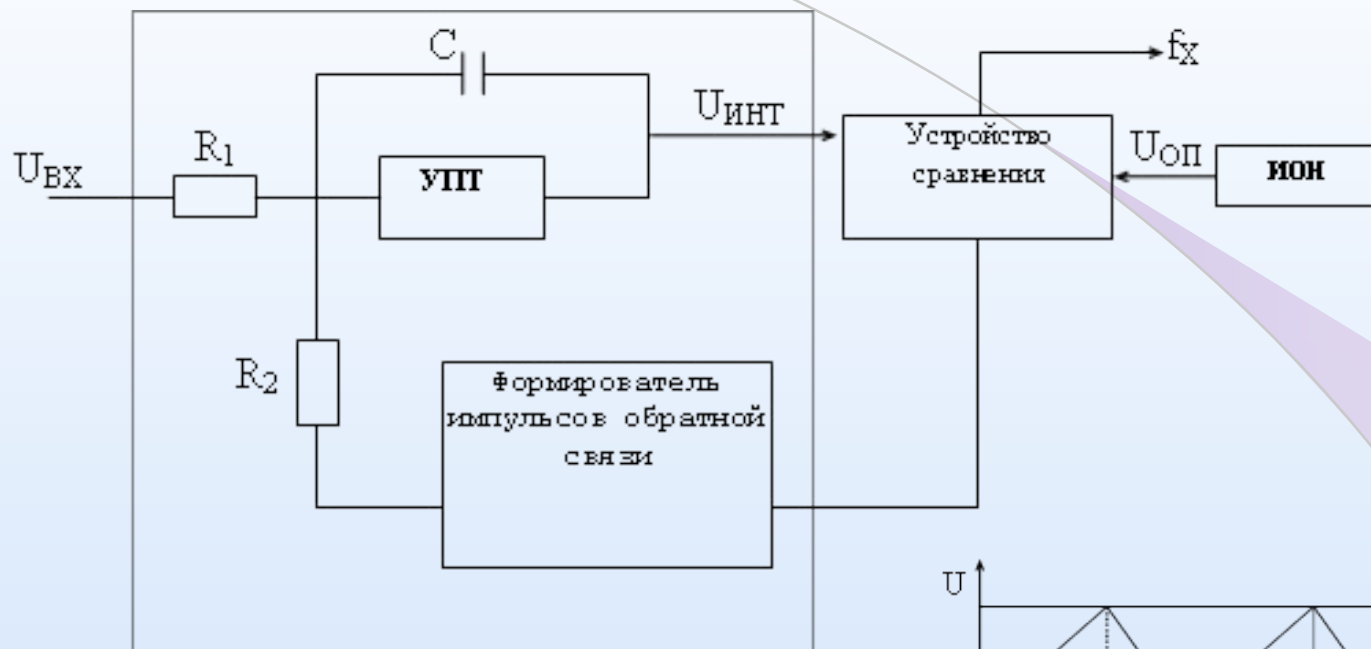
Достоинства:

- высокое быстродействие;
- возможность измерения напряжения с высокой точностью.

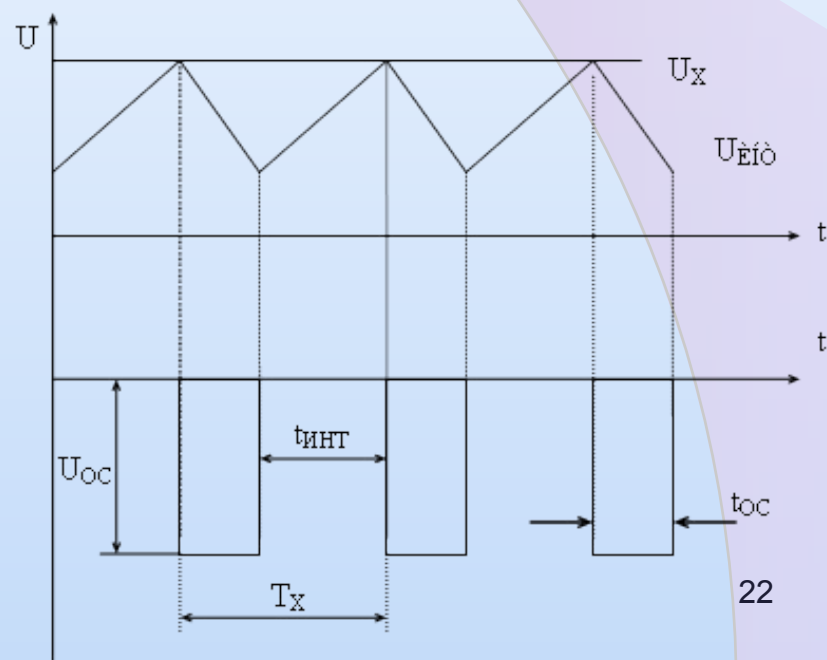
Цифровой вольтметр постоянного тока с времяимпульсным преобразованием



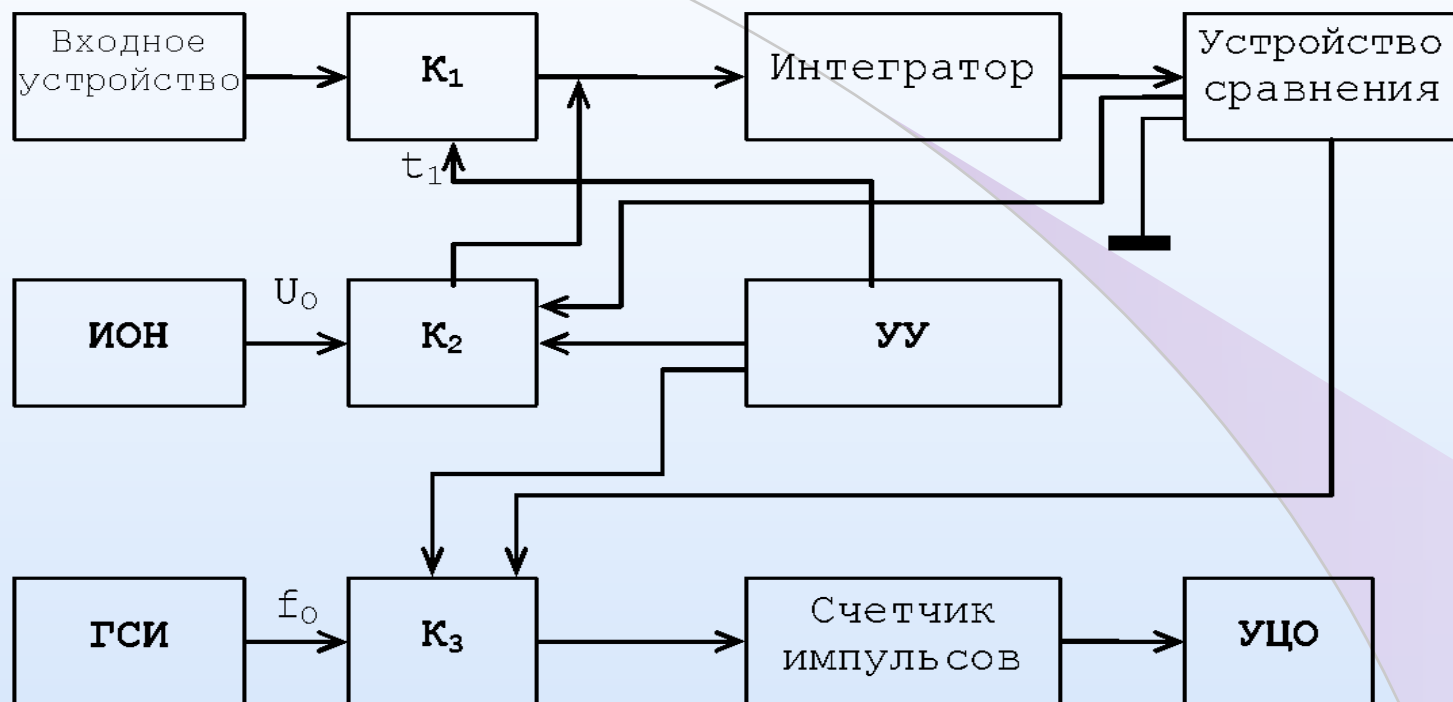
Цифровой вольтметр постоянного тока с частотно-импульсным преобразованием



$$U_{ИНТ} = k \cdot \int_0^t U_{BX}(t) dt$$

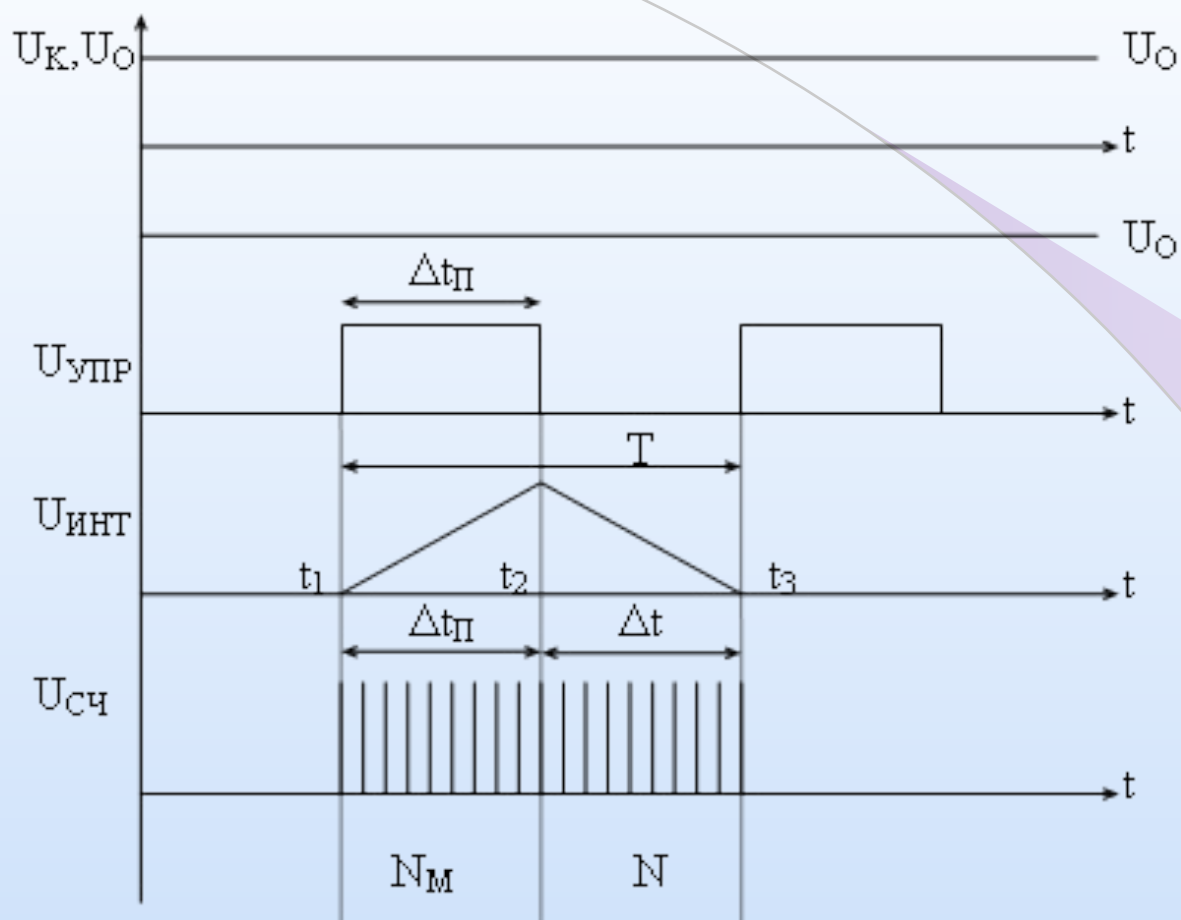


Цифровой вольтметр постоянного тока с двухтактным интегрированием



ИОН – источник опорного напряжения;
ГСИ – генератор счетных импульсов;
УУ – устройство управления;
УЦО – устройство цифрового отсчета.

Цифровой вольтметр постоянного тока с двухтактным интегрированием



Цифровой вольтметр постоянного тока с двухтактным интегрированием

На вход интегратора подается U_x или U_0 , неизвестное напряжение U_x измеряется в 2 такта: на первом такте (называемом *интегрированием вверх*) интегральное напряжение U_x запоминается на выходе интегратора, на втором такте (*интегрировании вниз*) U_x преобразуется во временной интервал Δt , в течении которого на счетчик от ГСИ поступают импульсы образцовой частоты f_0 . Число импульсов N эквивалентно U_x , т.е. $N = k \cdot U_x$.

В исходном состоянии все ключи разомкнуты. В начале первого такта t_1 устройство управления вырабатывает прямоугольный импульс калиброванной длительности Δt_n с крутыми фронтами. В момент появления фронта импульса ключи K_1 и K_3 замыкаются, следовательно на вход интегратора поступает измеряемое напряжение U_x . Импульсы с частотой следования f_0 начинают поступать с генератора счетных импульсов на счетчик импульсов. На выходе интегратора напряжение возрастает по линейному закону, пропорциональному U_x :

$$U_{\text{инт}}(t_1 < t < t_2) = \frac{U_x t}{\tau_1}.$$

где τ_1 – постоянная интегрирования на первом такте.

Когда на счетчик поступит N_m импульсов, то счетчик будет заполнен и импульс с индексом $m+1$ в момент времени t_2 сбросит счетчик в нулевое состояние. При этом размыкается ключ K_1 и замыкается ключ K_2 , в результате на вход интегратора подается напряжение U_0 , его полярность обратна полярности U_x . В момент t_2 заканчивается интегрирование вверх и начинается интегрирование вниз. Напряжение на выходе интегратора начинает убывать по линейному закону:

$$U_{\text{инт}}(t_1 < t < t_2) = U_x \left(\frac{\Delta t_n}{\tau_1} \right) - U_0 \left(\frac{t}{\tau_2} \right).$$

где τ_2 – постоянная интегрирования на втором такте.

Цифровой вольтметр постоянного тока с двухтактным интегрированием

Импульсы от ГСИ продолжают поступать на счетчик. Устройство сравнения срабатывает в момент времени t_3 , когда напряжение на выходе интегратора равно 0, так как второй его вход соединен с "землей". При этом размыкается ключ K_2 . Для момента времени t_3 справедливо соотношение:

$$U_{\text{инт}}(t_3) = U_x \left(\frac{\Delta t_n}{\tau_1} \right) - U_0 \left(\frac{\Delta t}{\tau_2} \right) = 0,$$

где Δt – длительность второго такта интегрирования.

За время Δt на счетчик поступило N импульсов, код числа N через дешифратор подается в устройство цифрового отсчета.

$$\frac{(U_x \Delta t - U_0 \Delta t)}{\tau} = 0$$

$$\Delta t = \left(\frac{U_x}{U_0} \right) \cdot \Delta t_n = \frac{N}{f_0}$$

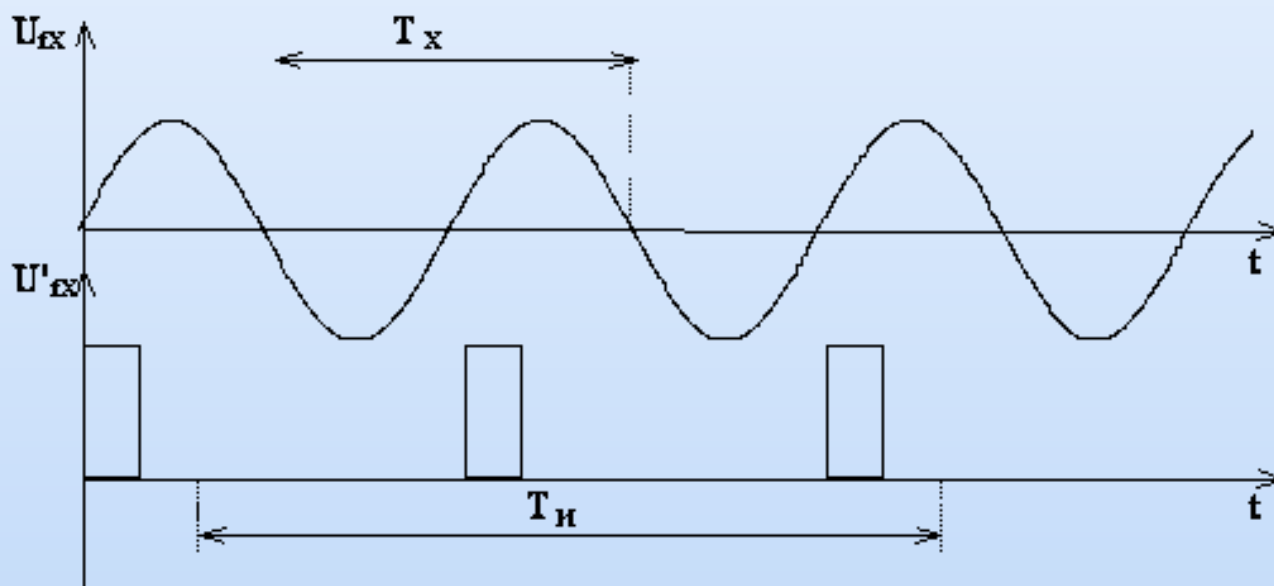
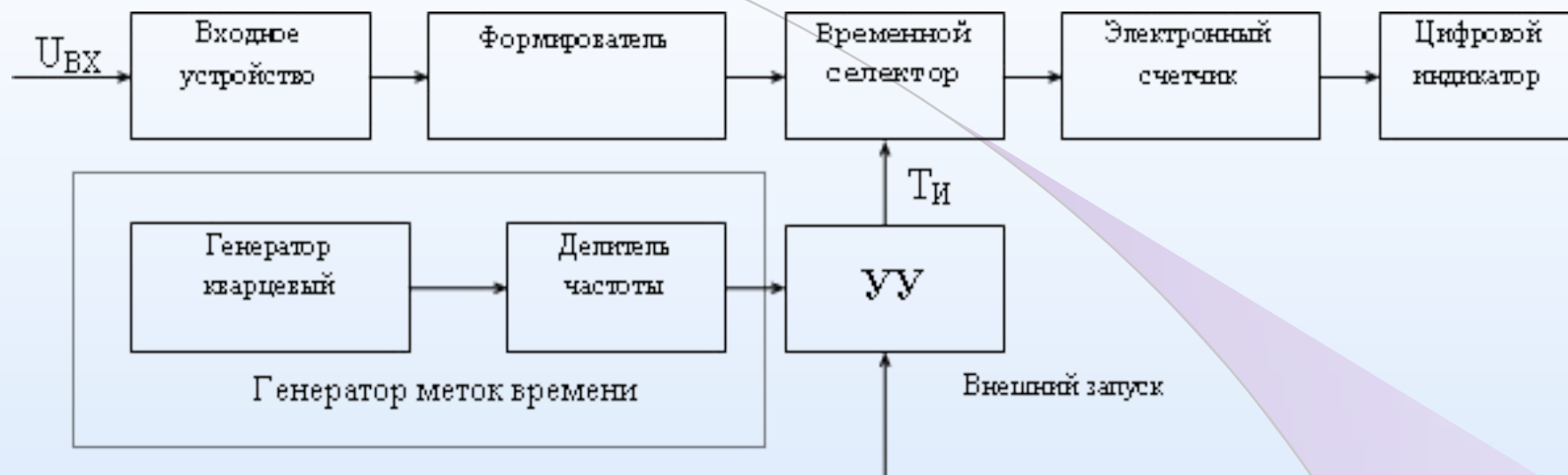
где $\tau_1 = \tau_2 = \tau$ – постоянные интегрирования.

Интервал времени Δt пропорционален напряжению U_x и не зависит от τ . Таким образом, для этого метода не требуется цепи с высокостабильными элементами. Число импульсов N равно:

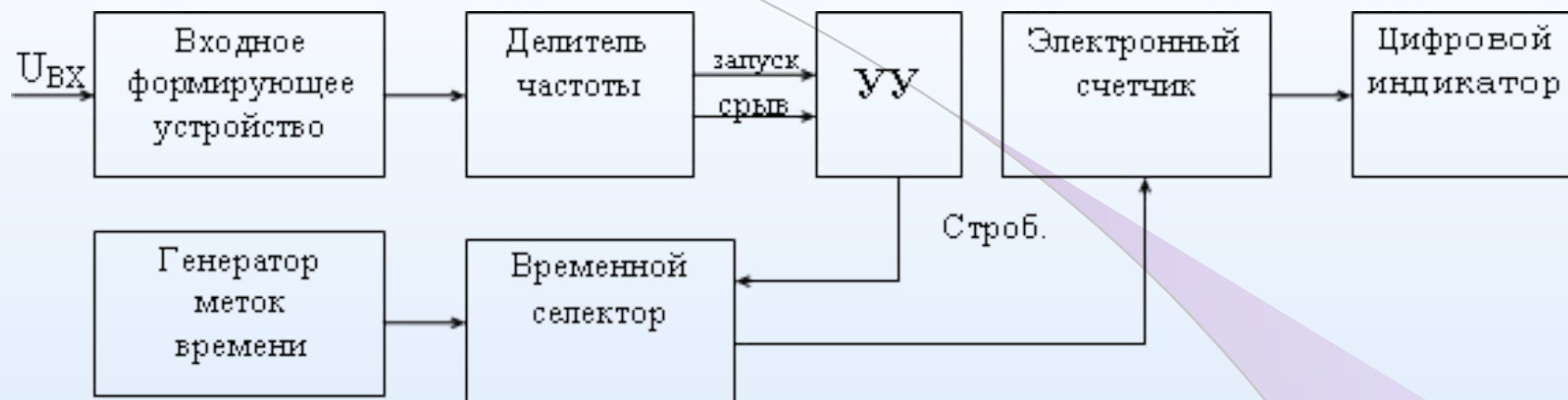
$$N = \left(\frac{U_x}{U_0} \right) \Delta t f_0 = k U_x.$$

Δt_n и U_0 могут поддерживаться постоянными с высокой точностью, следовательно погрешность преобразования напряжения во временной интервал незначительна. После размыкания ключа K_3 прибор приходит в исходное состояние и готов к новым измерениям.

Цифровой частотомер



Измерение периодов





Цифровые измерительные приборы

Цифровой амперметр — измеритель силы тока с цифровой индикацией. В цифровых амперметрах используется косвенный метод *измерения тока*, заключающийся в измерении падения напряжения на образцовом резисторе с известным значением сопротивления посредством цифрового вольтметра. Цифровой амперметр является составной частью *цифровых мультиметров*, комбинированных измерительных приборов.

Основой цифрового мультиметра является *цифровой вольтметр*, который дополняется специальным переключающим устройством для измерения различных величин. При этом применяются электрические схемы *цифровых амперметров* и омметров.



Цифровые измерительные приборы

Цифровой омметр—прибор для измерения сопротивления с цифровой индикацией.

Известны два способа измерений. Во-первых, **мост измерительный Уитсона** обеспечивает автоматическое уравнивание. Для этого соединенные в соответствии с кодом сопротивления подключаются по команде устройства управления к мосту по очереди, пока не обеспечивается равновесие схемы. Второй способ заключается в пропускании через измеряемое сопротивление известного тока. Падение напряжения измеряется при помощи АЦП по способу компенсации и индицируется в цифровой форме в единицах сопротивления. Цифровой омметр является в частности, составной частью ***цифрового мультиметра***.



Цифровые измерительные приборы

Цифровой осциллограф—осциллограф с цифровой регистрацией измеряемого сигнала запоминанием и обработкой.

Аналоговый измерительный сигнал при помощи *АЦП* преобразуется в цифровую форму. В этом виде он может быть записан в запоминающее устройство. Цифровой осциллограф имеет *микровычислитель*, который может быть использован для точного расчета параметров измеряемых сигналов (например, значений переменного тока и параметров импульсов) и/или программного управления измерительным процессом. Конструкция, как правило, отвечает требованиям агрегатирования благодаря чему этот прибор находит применение в измерительных системах. Через соответствующий *интерфейс* он может быть соединен с внешней ЭВМ в соответствии с концепцией объединения различных однотипных сменных блоков. Осциллографы, обеспечивающие вывод на экран информации и в буквенно-цифровой форме помимо обычного изображения сигнала, также называют **цифровыми**.



The end