

# **Цифровые измерительные приборы (ЦИП)**

# 1 Общие сведения по устройству и принципу действия ЦИП

*Цифровыми* называются измерительные приборы, автоматически вырабатывающие дискретные сигналы измерительной информации, показания которых представляются в цифровой форме.

Обобщенная структурная схема ЦИП показана на рис. 1.

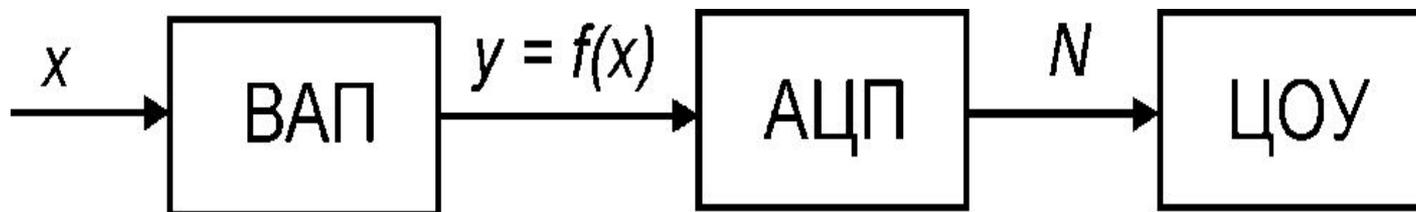


Рис. 1 Обобщенная структурная схема ЦИП

На схеме:

**ВАП** – входной аналоговый преобразователь (служит для изменения масштаба измеряемой входной аналоговой величины  $x$  или ее преобразования в другую аналоговую величину  $y = f(x)$ , более удобную для дальнейшего преобразования).

**АЦП** – аналого-цифровой преобразователь (служит для преобразования аналогового измерительного сигнала  $y = f(x)$  в цифровой код  $N$ ).

**ЦОУ** – цифровое отсчетное устройство (преобразует цифровой код  $N$  в цифровой отсчет в привычной десятичной системе счисления, удобный для считывания оператором).

Процесс кодирования в АЦП сопряжен с такими операциями как дискретизация и квантование.

Дискретизацией называются операция преобразования непрерывной во времени величины  $x(t)$  в дискретизированную, путем сохранения ее мгновенных значений только в определенные моменты времени  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  (моменты дискретизации).

Интервал  $\Delta t$  между ближайшими моментами дискретизации называют шагом дискретизации.

Квантованием называется операция преобразования непрерывной по значению величины в квантованную путем замены ее значений ближайшими фиксированными значениями  $x_{k1}, x_{k2}, x_{k3}, \dots, x_{kn}$ .

Фиксированные значения квантованной величины называются уровнями квантования.

Разность  $\Delta x$  между двумя ближайшими уровнями квантования называют *шагом квантования*.

Сущность операций дискретизации и квантования можно пояснить следующим рисунком

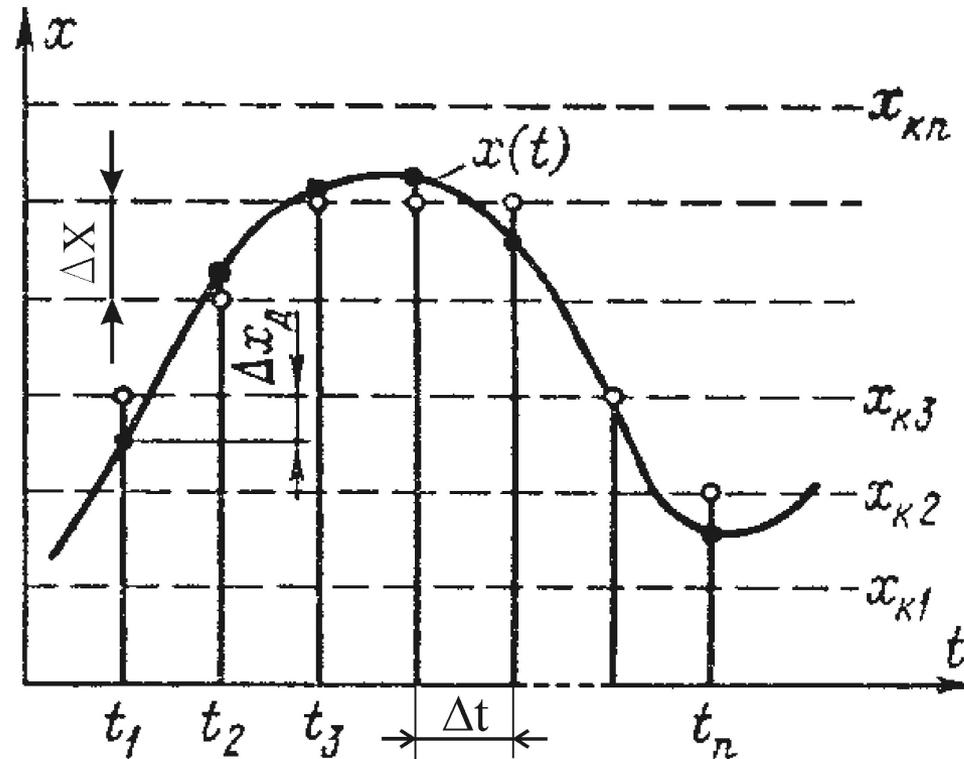


Рис. 2 Дискретизация и квантование непрерывной измеряемой величины

Как видно из рисунка 2, в результате квантования измеряемой величины по уровню неизбежно возникает погрешность дискретности  $\Delta X_{\text{д}}$ , обусловленная тем, что бесконечное множество значений измеряемой величины отражается лишь ограниченным числом уровней квантования.

Однако, погрешность дискретности не является препятствием для достижения высокой точности ЦИП, так как, очевидно, что соответствующим выбором числа уровней квантования ее можно сделать достаточно малой.

Таким образом, процесс измерения в цифровом приборе включает в себя дискретизацию, квантование и кодирование — получение по определенной системе правил числового значения квантованной величины в виде комбинации цифр (дискретных сигналов) – кода, и затем преобразование кода в цифровой отсчет.

## 2 Методы кодирования в АЦП

Кодирование (преобразование аналоговой величины в цифровой код) является измерительной процедурой и осуществляется путем выполнения ряда операций сравнения измеряемой величины с набором дискретных эталонных величин, имеющих одинаковую природу с преобразуемой.

В зависимости от характера данной процедуры во времени различают следующие методы кодирования: *метод последовательного счета, метод поразрядного уравнивания* (кодоимпульсный, сравнения и вычитания, последовательного приближения) и *метод одновременного считывания*.

# Метод последовательного счета

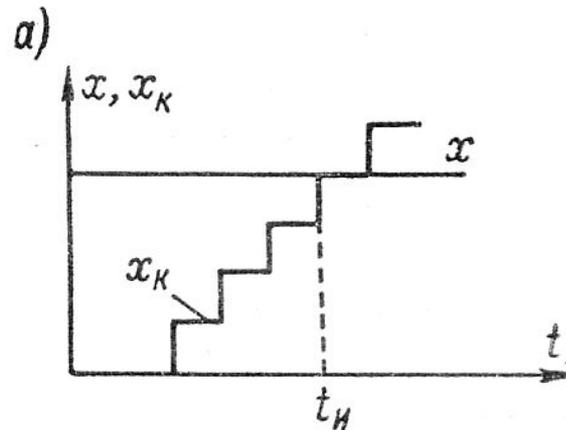


Рис. 3 а Метод последовательного счета

При этом методе (рис. 3 а) происходит последовательное во времени сравнение измеряемой величины  $x$  с известной квантованной величиной  $x_K$ , изменяющейся (возрастающей или убывающей) во времени скачками, причем каждый скачок соответствует шагу (ступени) квантования по уровню.

Число ступеней, при котором наступает равенство  $x_k(t_{и}) = x$  (с некоторой погрешностью), равно номеру отождествляемого уровня квантования.

В процессе сравнения образуется единичный код, соответствующий номеру отождествляемого уровня квантования.

Возможно инверсное преобразование, при котором известная постоянная величина сравнивается с равномерно квантуемой величиной, функционально связанной с измеряемой величиной.

# Метод поразрядного уравнивания

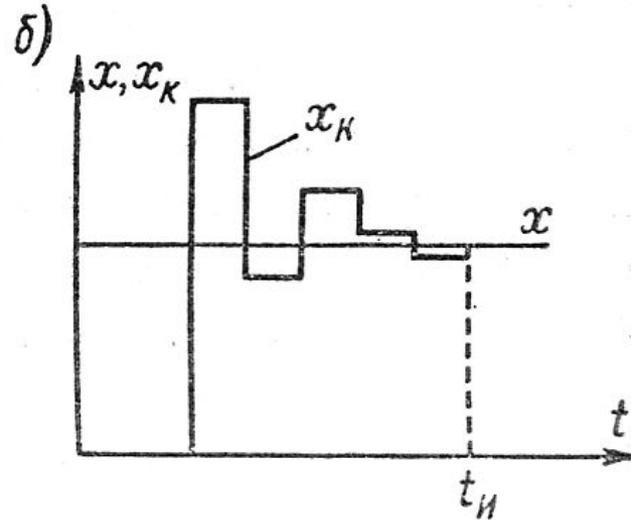


Рис. 3 б Метод поразрядного уравнивания

При этом методе (рис. 3 б) происходит последовательное во времени сравнение измеряемой величины  $x$  с известной квантованной величиной  $x_k$ , изменяющейся во времени неравномерными скачками по определенному правилу (исключая единичную систему счисления).

Значение известной величины, при которой наступает равенство  $x_{\text{к}}(t_{\text{и}}) = x$ , соответствует номеру отождествляемого уровня квантования. Код, образуемый в процессе этой операции, соответствует отождествляемому уровню.

Алгоритм изменения  $x_{\text{к}}$  может быть выбран таким образом, что в результате сравнения сразу же формируется двоично-десятичный код измеряемой величины.

# Метод одновременного считывания

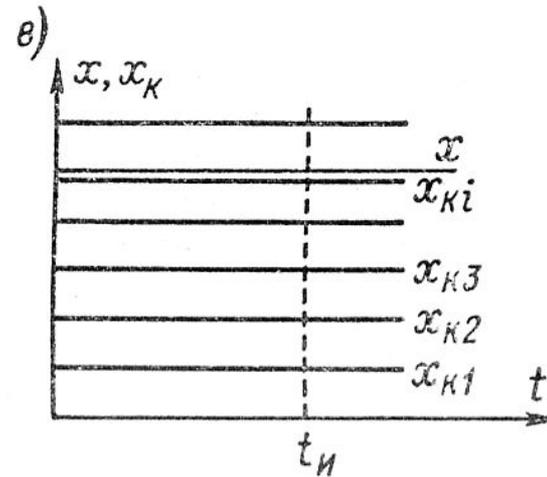


Рис. 3 в Метод одновременного считывания

При этом методе (рис. 3 в) происходит одновременное сравнение измеряемой величины  $x$  с известными величинами  $x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{ki}$ , значения которых равны уровням квантования. Известная величина, равная измеряемой  $x_{ki} = x(t_n)$ , дает номер отождествляемого уровня квантования, в соответствии с которым образуется код

### 3 Цифровой частотомер

В цифровом частотомере при кодировании используется метод последовательного счета (вариант инверсного преобразования).

Результат измерения в этом приборе представляет собой среднее значение входной величины (частоты) за некоторый фиксированный интервал времени.

На рис. 4 приведена структурная схема частотомера, на рис. 5 – временные диаграммы, поясняющие работу прибора.

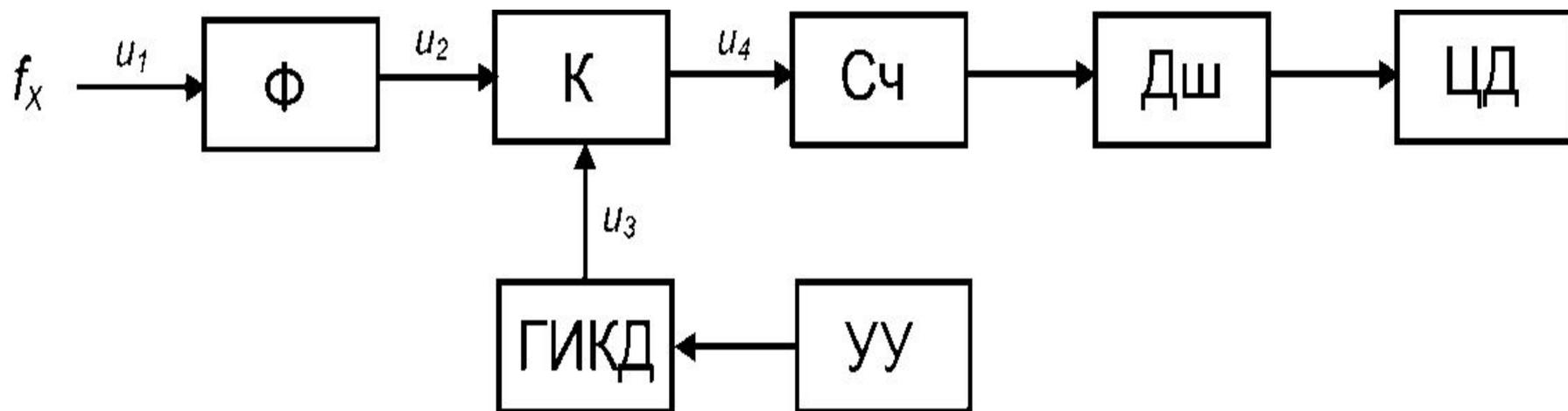


Рис. 4 Структурная схема цифрового частотомера:

**Ф** – формирователь; **К** – электронный ключ;  
**Сч** – счетчик импульсов; **Дш** - дешифратор;  
**ЦД** – цифровой дисплей; **ГИКД** – генератор импульсов калиброванной длительности;  
**УУ** – управляющее устройство.

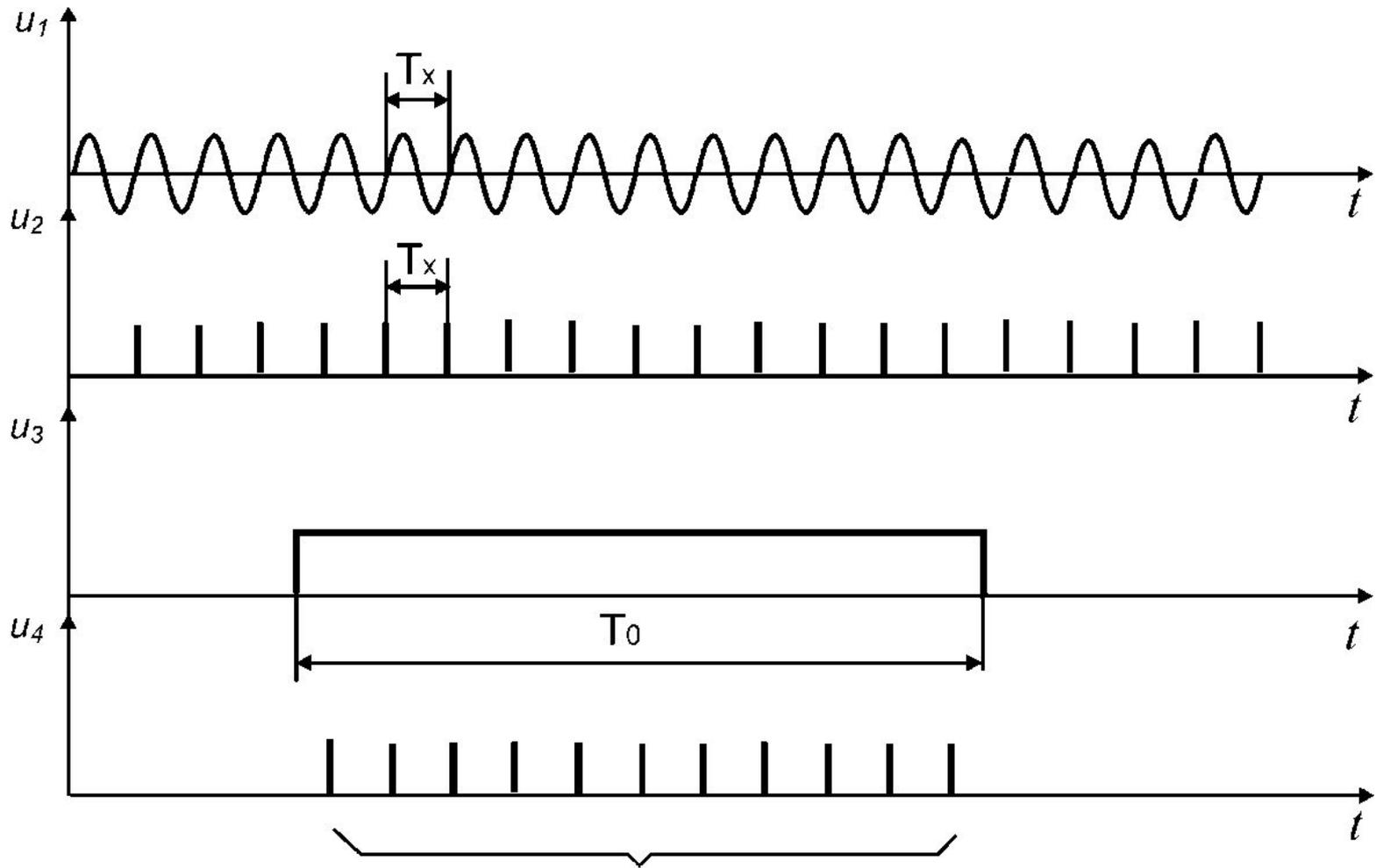


Рис. 5 Временные диаграммы  
цифрового частотомера

При подаче на вход формирователя **Ф** сигнала измеряемой частоты  $f_x(u_1)$ , на его выходе формируются единичные импульсы той же частоты ( $u_2$ ), поступающие на ключ **К**.

По сигналу управляющего устройства **УУ** запускается **ГИКД**, который формирует импульс калиброванной длительности  $T_0(u_3)$ . По переднему фронту этого импульса ключ **К** открывается и заднему – закрывается. За время  $T_0$ , пока ключ открыт, на вход счетчика **Сч** с формирователя **Ф** проходит некоторое число импульсов  $N(u_4)$ , которое и является единичным кодом измеряемой частоты

## 4 Цифровой периодомер

Структурная схема периодомера приведена на рис. 6, временные диаграммы, поясняющие работу прибора – на рис. 7.

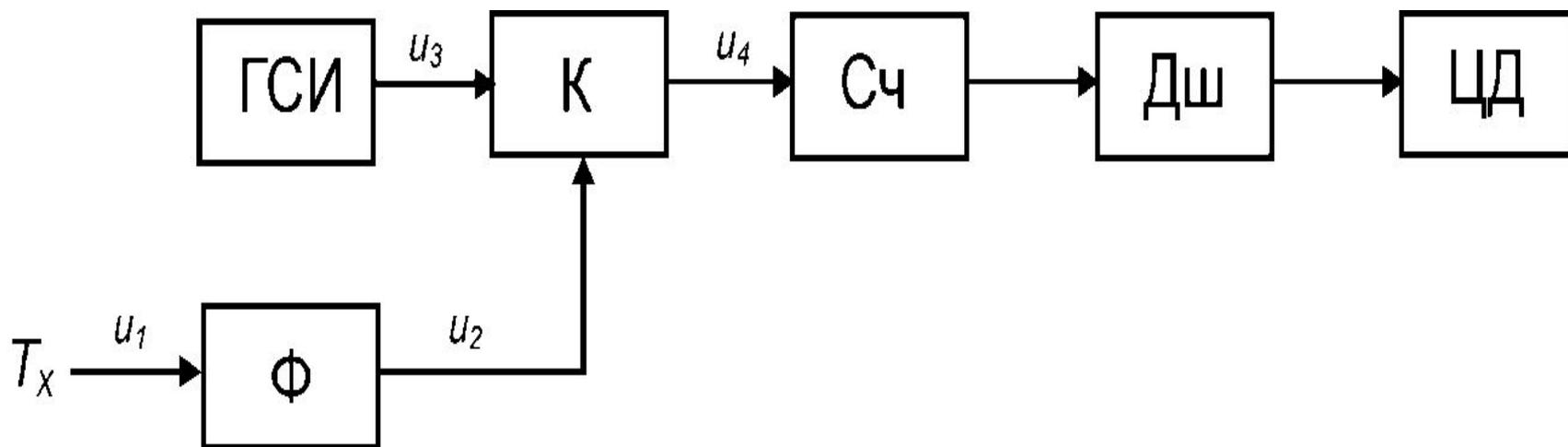


Рис. 6 Структурная схема цифрового периодомера:

**ГСИ** – генератор счетных импульсов (все остальные обозначения аналогичны рис. 4).

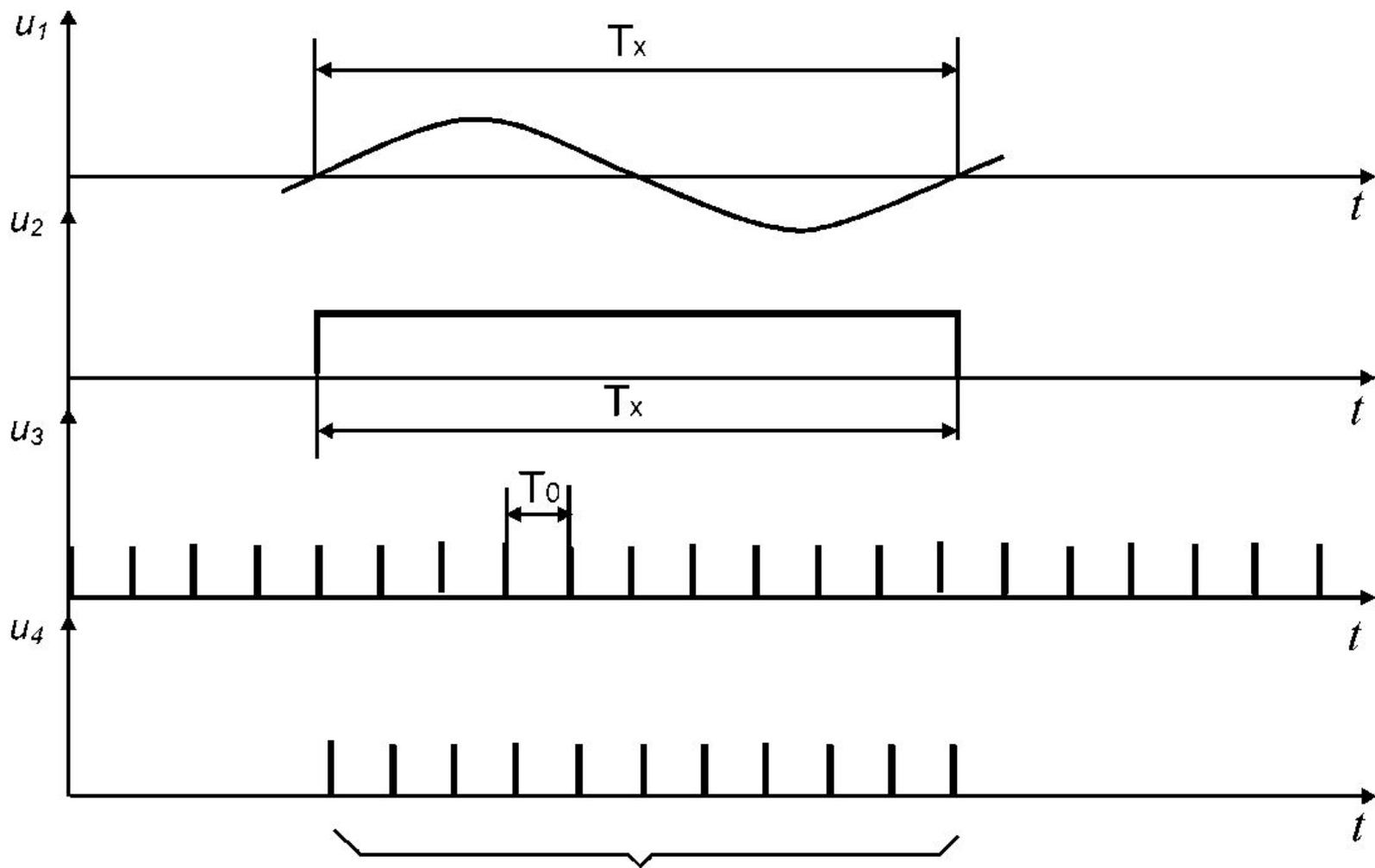


Рис. 7 Временные диаграммы цифрового периодомера

Переменное напряжение с измеряемым периодом  $T_x (u_1)$  поступает на формирователь  $\Phi$ , на выходе которого формируется импульс длительностью  $T_x (u_2)$ . По переднему фронту этого импульса ключ  $K$  открывается и заднему – закрывается. За время, пока ключ открыт, на вход счетчика  $Сч$  проходят импульсы с  $ГСИ$  с периодом следования  $T_0$ .

Число импульсов

$$N = \frac{T_x}{T_0} = f_0 T_x$$

очевидно является единичным кодом  
измеряемого периода

## 5 Цифровой вольтметр с время-импульсным преобразованием

В цифровом вольтметре с время-импульсным преобразованием значение измеряемого напряжения предварительно преобразуется в интервал времени, который затем кодируется методом последовательного счета, аналогично как в периодометре.

Преобразование  $U_x$  в  $\Delta t$  происходит посредством сравнения  $U_x$  с линейно изменяющимся напряжением  $u(t)$ .

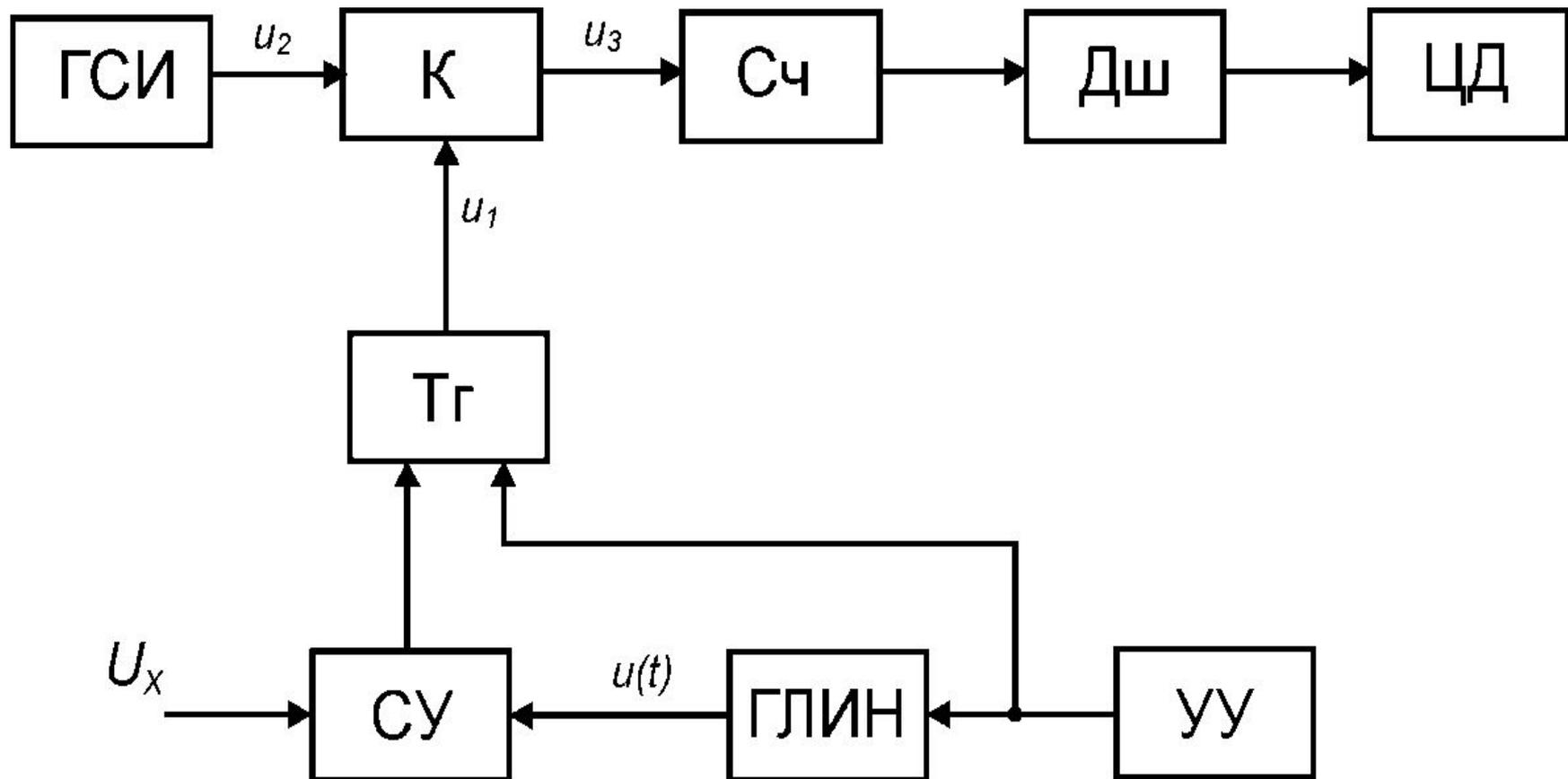


Рис. 8 Структурная схема цифрового вольтметра с время-импульсным преобразованием:

**СУ** – сравнивающее устройство; **ГЛИН** – генератор линейно изменяющегося напряжения (пилообразного); **Тг** – триггер (все остальные обозначения аналогичны рис. 4 и рис. 6).

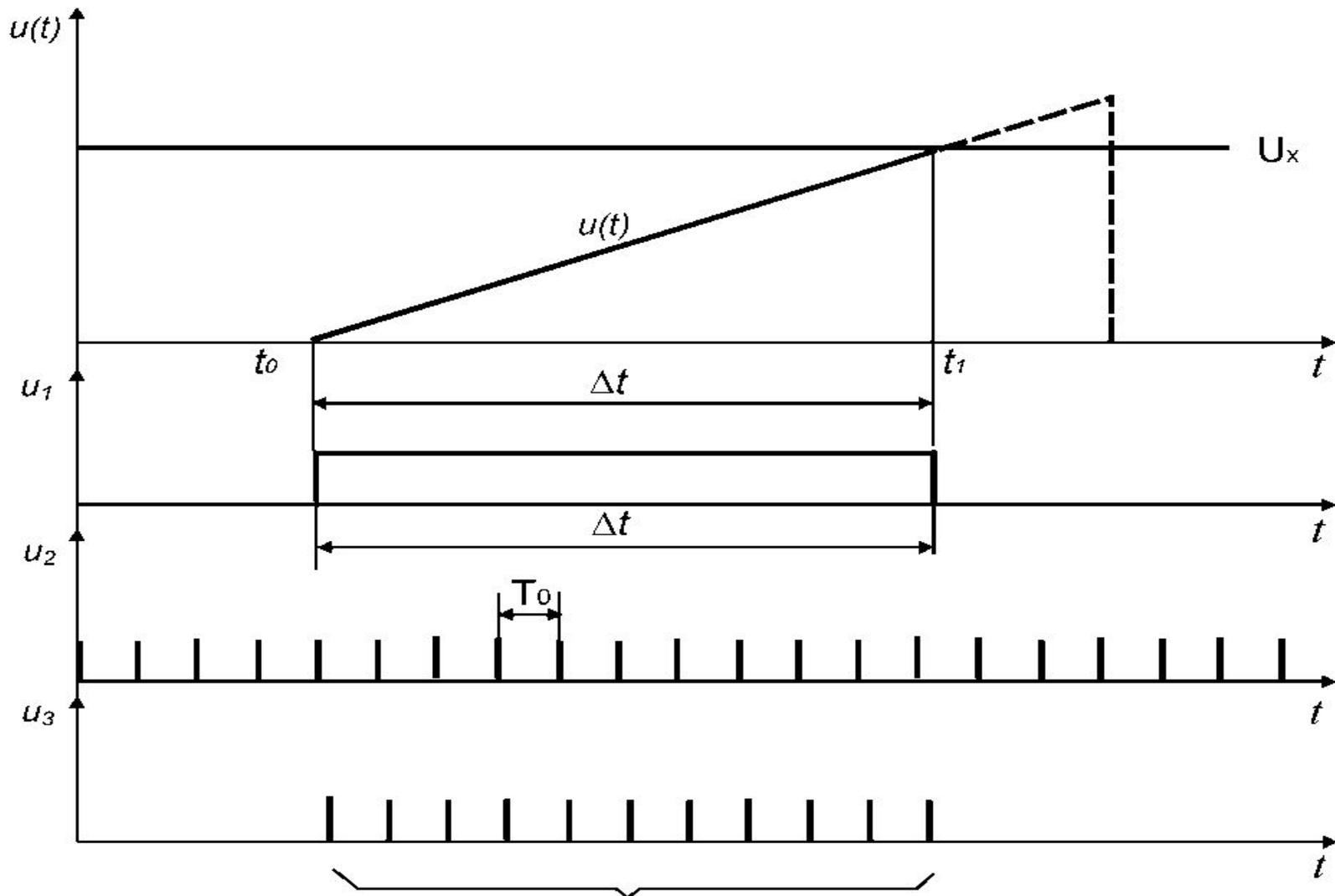


рис. 3. Временные диаграммы цифрового вольтметра с время-импульсным преобразованием

По сигналу управляющего устройства **УУ** в момент времени  $t_0$  запускается **ГЛИН** и одновременно через триггер **Тг** открывается ключ **К**.

На сравнивающее устройство **СУ** подается измеряемое напряжение  $U_x$  и с **ГЛИН** линейно изменяющееся напряжение  $u(t)$ .

В момент времени  $t_1$ , когда линейно нарастающее напряжение  $u(t)$  достигнет значения  $U_x$ , срабатывает сравнивающее устройство и через триггер закрывает ключ.

Таким образом, в течение интервала времени  $\Delta t$ , пока ключ открыт, на счетчик **Сч** с **ГСИ** проходит некоторое количество импульсов  $N$ :

$$N = \frac{\Delta t}{T_0} \quad ; \quad \Delta t = \frac{U_x}{k} \quad \text{и, следовательно}$$

$$N = \frac{U_x}{kT_0} = \frac{f_0}{k} U_x$$

т.е.  $N$  является единственным кодом значения измеряемого напряжения.



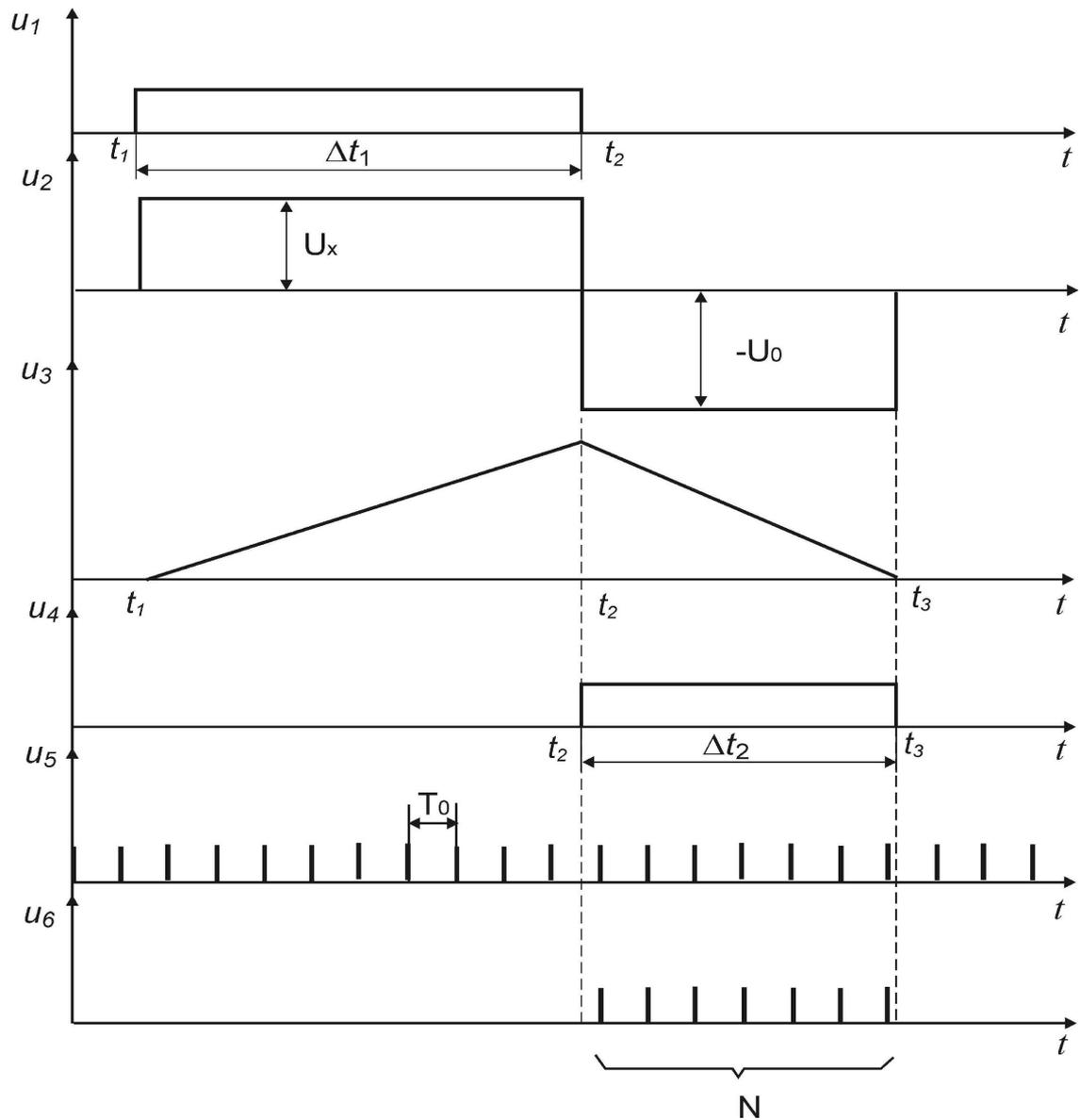


Рис. 11 Временные диаграммы ЦВ с двойным интегрированием

В исходном состоянии ключи  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  закрыты.

В начале цикла измерения, в момент времени  $t_1$ , по сигналу  $u_1$  на выходе 1, устройства управления **УУ**, ключ  $K_1$  открывается и находится в этом состоянии в течение фиксированного интервала времени  $\Delta t_1$ .

На вход интегратора **И** в этот промежуток времени подается измеряемое напряжение  $U_x$ . Интервал времени  $\Delta t_1$  является первым тактом интегрирования.

Напряжение на выходе интегратора **И** во время первого такта линейно возрастает в соответствии с выражением

$$u_3 = k \int_{t_1}^{t_2} U_x dt$$

По окончании первого такта в момент времени  $t_2$  управляющий сигнал  $u_1$  на первом выходе устройства управления **УУ** принимает нулевое значение и ключ **К1** размыкается. Одновременно по команде с выхода **2** управляющего устройства **УУ** через триггер **Тр** сигналом  $u_4$  открываются ключи **К2** и **К3**.

Через открытый ключ **К2** на вход интегратора **И** подается фиксированное опорное напряжение  $U_0$ , полярность которого противоположна полярности  $U_x$ .

Интегрирование опорного напряжения  $U_0$  составляет второй такт интегрирования, в течение которого напряжение на выходе интегратора **И** линейно уменьшается в соответствии с выражением

$$u_3 = -k \int_{t_2}^{t_3} U_0 dt$$

а через открытый ключ **К<sub>3</sub>** на счетчик **Сч** проходят импульсы  $u_5$  с **ГСИ**.

В момент времени  $t_3$ , когда выходное напряжение интегратора  $u_3$  достигнет нулевого уровня, срабатывает сравнивающее устройство **СУ** и через триггер **Тг** закрывает ключи **К<sub>2</sub>** и **К<sub>3</sub>**. Поступление импульсов  $u_5$  на счетчик прекращается.

Длительность 2-го такта интегрирования  $\Delta t_2$  определяется из условия

$$u_3 = k \int_{t_1}^{t_2} U_x dt - k \int_{t_2}^{t_3} U_0 dt = 0.$$

После интегрирования получим

$$k\Delta t_1 U_{\text{хсп.}} = k\Delta t_2 U_0,$$

где  $U_{\text{хсп.}}$  - среднее значение измеряемого напряжения за интервал  $\Delta t_1$ .

Откуда

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta t_1 U_{\text{хсп.}}}{U_0}$$

и следовательно

$$N = \frac{\Delta t_2}{T_0} = \frac{\Delta t_1}{U_0 T_0} U_{\text{хсп.}},$$

т.е.  $N$  является единичным кодом среднего значения измеряемого напряжения за интервал  $\Delta t_1$ .

Важнейшим достоинством цифрового вольтметра интегрирующего типа является повышенная устойчивость к помехам переменного тока.

Действительно, если на сигнал измерительной информации накладывается синусоидальная помеха  $U_{\Pi}$  с частотой  $f_{\Pi}$ , то при  $\Delta t_1 = n/f_{\Pi}$  ( $n = 1, 2, 3$  и т.д.) влияние помехи на результат исключается. Это объясняется равенством нулю интеграла  $\int_0^{\Delta t_1} U_{\Pi} dt$ .

Обычно интервал  $\Delta t_1$  выбирают с учетом влияния помех частотой, кратной 50.

## 7 Цифровые мультиметры

Цифровые мультиметры (ЦМ) – это многофункциональные измерительные приборы, специально предназначенные в основном для измерений нескольких электрических (например, переменных и постоянных напряжений и токов, сопротивления, частоты) и неэлектрических (например, температуры) величин.

Структура переносного ЦМ подобна структуре любого ЦИП.

Отличие состоит в наличии на входе прибора нескольких специальных преобразователей конкретных входных физических величин.

На рис. 12 показана упрощенная структура ЦМ с минимальным набором измеряемых величин: постоянных (DC – Direct Current) и переменных (AC – Alternating Current) напряжений и токов, а также сопротивления  $R$ .

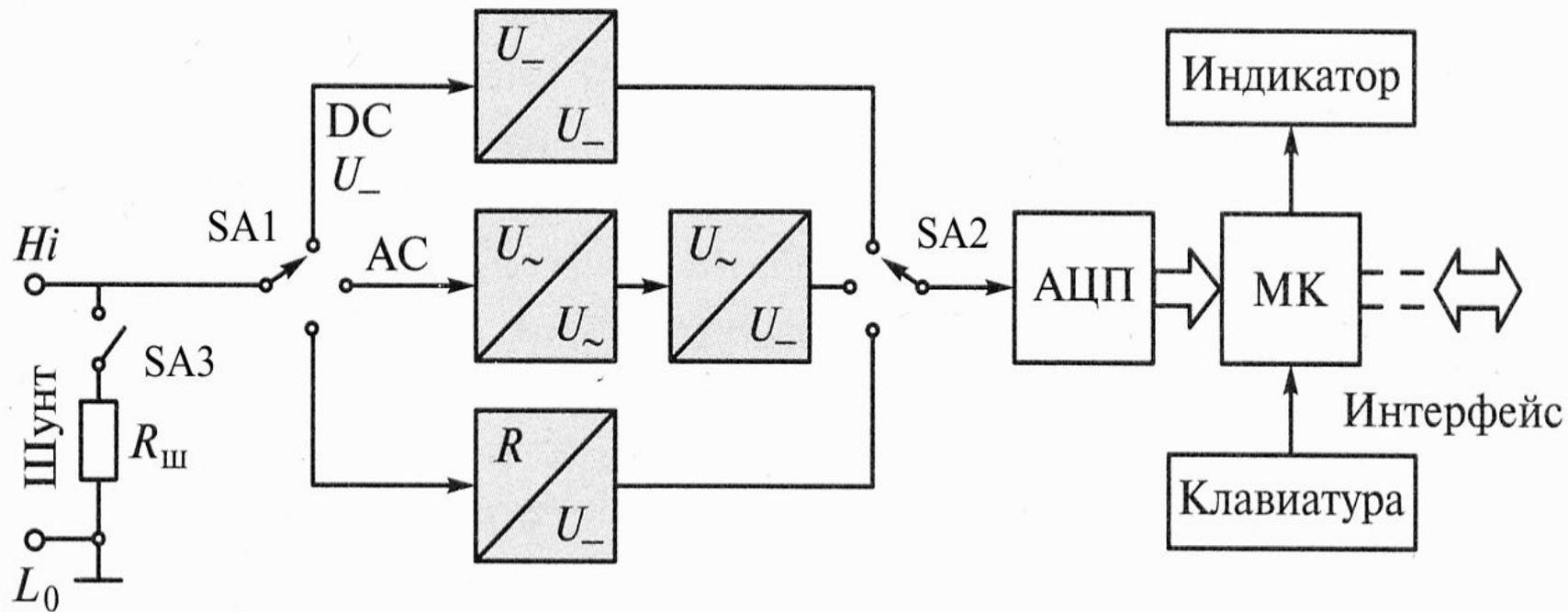


Рис. 12 Структура цифрового мультиметра

Входные измеряемые величины в любом случае сначала преобразуются в пропорциональное напряжение постоянного тока, которое поступает на вход АЦП, где и преобразуется в цифровой код.

Структура содержит следующие узлы: АЦП (как правило, интегрирующего типа), микроконтроллер (МК), клавиатуру и индикатор.

Во входных цепях стоят следующие аналоговые преобразователи:

- $U_{\sim} / U_{\sim}$  – постоянное напряжения в постоянное (делитель и усилитель);
- $U_{\sim} / U_{\sim}$  – переменное напряжение в переменное (частотонезависимый делитель, усилитель переменного тока);
- $U_{\sim} / U_{\sim}$  – переменного напряжения в постоянное (выпрямитель);
- $R / U_{\sim}$  – сопротивления в постоянное напряжение.

Конкретный режим измерения определяется положениями переключателей: SA1, SA2 и SA3.

При измерении напряжений переключатель SA3 разомкнут, а переключатели SA1 и SA2 устанавливаются в верхнее (при постоянном входном напряжении) или в среднее (при переменном входном напряжении) положение.

Для измерения сопротивления включается преобразователь сопротивления в постоянное напряжение  $R/U_0$  (переключатели SA1 и SA2 установлены в нижнем положении, а

В режиме измерения тока используется внутренний шунт (точный резистор малого сопротивления  $R_{\text{ш}}$ ). При этом переключатель SA3 замкнут и измеряемый ток, протекая по резистору  $R_{\text{ш}}$  создает пропорциональное току падение напряжения.

Если входной ток постоянный, то переключатели SA1 и SA2 устанавливаются в верхнее положение.

Если же входной ток переменный, то переключатели SA1 и SA2 устанавливаются в среднее положение.

Как и многие другие ЦИП, современные ЦМ можно разделить на две группы (количественно и качественно сильно различающиеся):

- автономные — сравнительно простые, дешевые, малогабаритные и массовые приборы для экспресс-измерений;
- системные — сложные, прецизионные, или быстродействующие, дорогостоящие приборы, предназначенные для работы в составе различных измерительно-вычислительных систем и (или) систем управления.

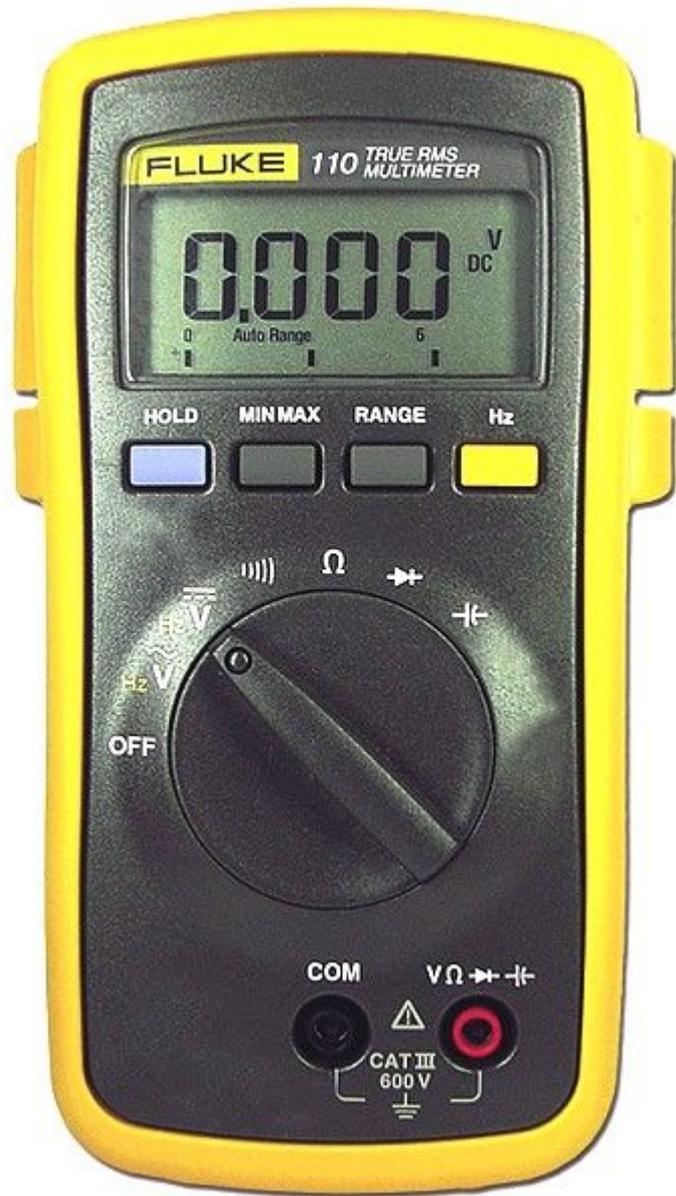
В настоящее время в практике технических измерений наиболее распространены ЦМ первой группы — компактные (Hand-Held — удерживаемые в ладони) и миниатюрные (Pocket Size — карманного формата) мультиметры, которые очень хорошо отвечают требованиям, предъявляемым к переносным приборам для экспресс-измерений.

Они имеют малые габаритные размеры и массу, вполне удовлетворительные точность и чувствительность.

Большинство современных ЦМ обеспечивают автоматический выбор полярности и диапазона измерения







## 8 Цифровые счетчики электрической энергии

Эти многофункциональные современные приборы предназначены для учета активной и реактивной энергии в цепях переменного тока (в режимах однотарифности или многотарифности), а также для использования в составе автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) с целью передачи измеренных и вычисленных параметров через устройства сбора и передачи данных (УСПД) на диспетчерский пункт по контролю, учету и распределению

Принцип работы основан на аналого-цифровом преобразовании напряжений и токов с последующим вычислением мощностей и энергий.

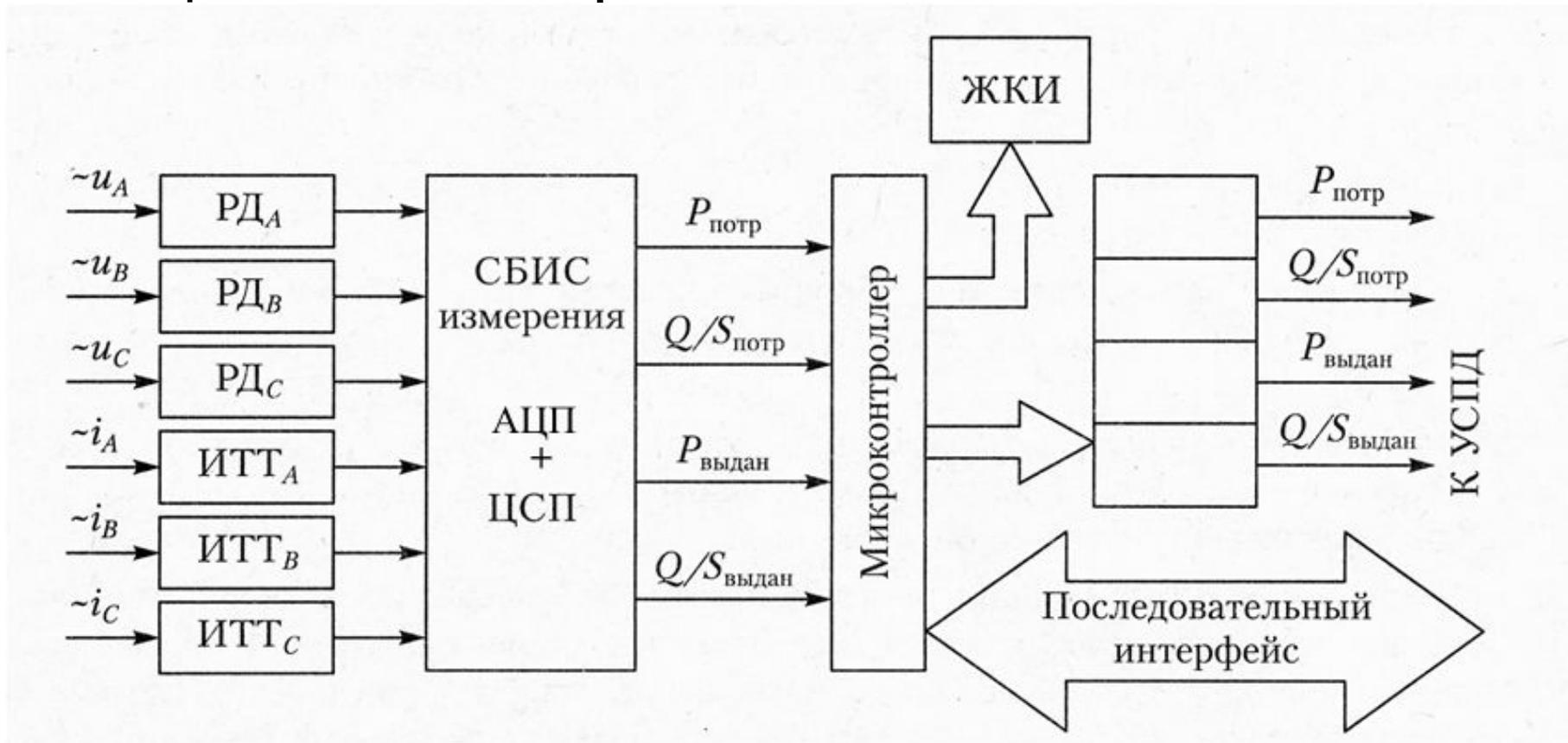


Рис. 15 Блок-схема многофункционального микропроцессорного счетчика электроэнергии

Фазные напряжения ( $u_A, u_B, u_C$ ) и токи ( $i_A, i_B, i_C$ ) преобразуются с помощью, соответственно, высокоточных резистивных делителей напряжения ( $РД_A, РД_B, РД_C$ ) и прецизионных измерительных трансформаторов тока ( $ИТТ_A, ИТТ_B, ИТТ_C$ ) в сигналы, которые поступают на специализированную большую интегральную схему (СБИС измерения).

СБИС измерения включает в себя программируемый цифровой сигнальный процессор (ЦСП) со встроенным АЦП.

Входные сигналы напряжений и токов преобразуются АЦП в соответствующие цифровые коды

Множительное устройство ЦСП соответствующим образом обрабатывает эти сигналы и высчитывает значения мощности и энергии всех направлений.

Далее микроконтроллер счетчика обрабатывает выходные сигналы СБИС измерения, запоминает данные в своей памяти, отображает их на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ) и осуществляет дальнейшую передачу данных через интерфейсы счетчика к УСПД.





НІК 2303 АРП2Т

→P L1 L3 kWh  
1800000242  
T2

3x220/380 V 5(60) A 50 Hz

8000 imp/kW·h

Вибір

8000 imp/kvar·h

ГОСТ 30207

ДСТУ ІЕС 61268

NiK®

№ 0029507 2009 р.

оптопорт

Перегляд

1101  
IR/ CL

Вироблено в Україні

Изготовлено в Украине



