

УЗЛЫ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить применение цифровых интегральных микросхем на комплиментарных полевых транзисторах КМОП.

1.2. Ознакомиться с принципом действия отдельных узлов: компараторов; генераторов и формирователей прямоугольных импульсов; триггеров; счетчиков импульсов; дешифраторов; знаковых индикаторов.

2. КРАТКИЕ ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

В цифровых измерительных устройствах (ЦИУ) применяются специальные узлы, выполненные на интегральных микросхемах. Рассмотрим (упрощенно) некоторые наиболее часто встречающиеся в ЦИУ узлы.

2.1. Логические элементы. Это устройства, с помощью которых реализуются элементарные логические функции. Сигналы на их выходах в любой момент однозначно определяются сочетаниями сигналов на входах и не зависят от предыдущих состояний схемы. Обычно наличие сигнала соответствует цифре 1, а его отсутствие - 0.

Логический элемент **И** реализует операцию логического умножения. Этот элемент выполняют в виде устройства, которое имеет несколько входов и один выход (рис. 1, а). Сигнал логической единицы появляется на выходе такой схемы только в том случае, если на все входы поданы сигналы, соответствующие единице. Логический элемент **И** часто называют схемой совпадения.

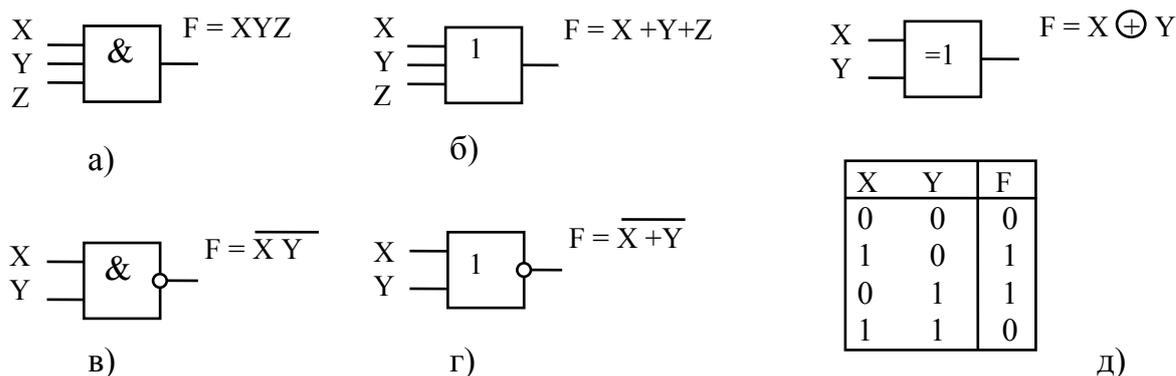


Рис. 1. Логические элементы: а - схема 3И; б - схема 3ИЛИ; в - схема 2И-НЕ; г - схема 2ИЛИ-НЕ; д - схема исключающее ИЛИ и таблица ее состояния.

Логический элемент **ИЛИ** реализует функцию логического сложения. Сигнал логической единицы появляется на выходе такого устройства в том случае, если хотя бы на один из входов подана логическая единица. Схему **ИЛИ** обозначают прямоугольником с символом 1 внутри него (рис. 1, б).

Логический элемент **НЕ** реализует функцию логического отрицания. Сигнал, соответствующий единице, на выходе устройства появляется только тогда, когда на вход подан сигнал логического нуля. Элемент **НЕ** иногда называют *инвертором*.

Логическое отрицание обозначают сплошной линией над соответствующими логическими переменными. Инверсия по выходу (входу) обозначается кружком в контуре прямоугольника. (рис. 1, в, г).

Схема **исключающее ИЛИ** выполняет сложение по модулю 2. Сигнал логической единицы на ее выходе появляется только тогда, когда на входах присутствуют разноименные логические сигналы. На рис. 1, д показано условное обозначение схемы **исключающее ИЛИ** и таблица ее состояния.

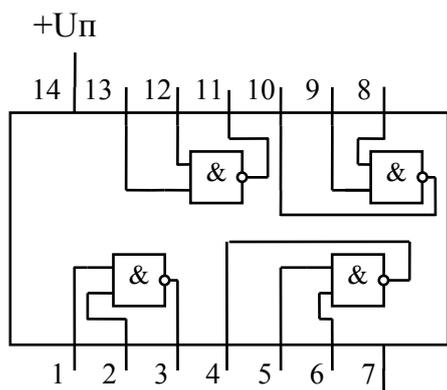


Рис. 2 Цоколевка микросхемы K561LA7

В лабораторной работе используются микросхемы серии K561, выполненные на комплементарных МОП-транзисторах. Микросхема K561LA7 содержит четыре логических элемента 2И-НЕ, микросхема K561LE5 - четыре элемента 2ИЛИ-НЕ, а микросхема K561ЛП2 - четыре элемента исключающее ИЛИ. Эти микросхемы выполнены в корпусах с 14 выводами и имеют одинаковую цоколевку. На рис. 2 показано расположение элементов в микросхеме K561LA7.

2.2. Триггеры. Это устройства с двумя состояниями устойчивого равновесия, способные скачкообразно переходить из одного состояния в другое с помощью внешнего сигнала. После такого перехода новое устойчивое состояние сохраняется до тех пор, пока другой внешний сигнал не изменит его.

Триггеры могут быть построены на основе логических элементов **И-НЕ** и **ИЛИ-НЕ**, при этом входной сигнал одного логического элемента является выходным сигналом другого (Рис. 3,а).

По способу записи информации триггеры подразделяют на асинхронные и синхронные или тактируемые. По функциональному признаку различают **RS-**; **D-**; **T-** триггеры. Один из выходов триггера называют прямым и обозначают буквой Q, другой - инверсным и обозначают - \bar{Q} . Триггер находится в единичном состоянии если Q = 1, и нулевом при Q = 0.

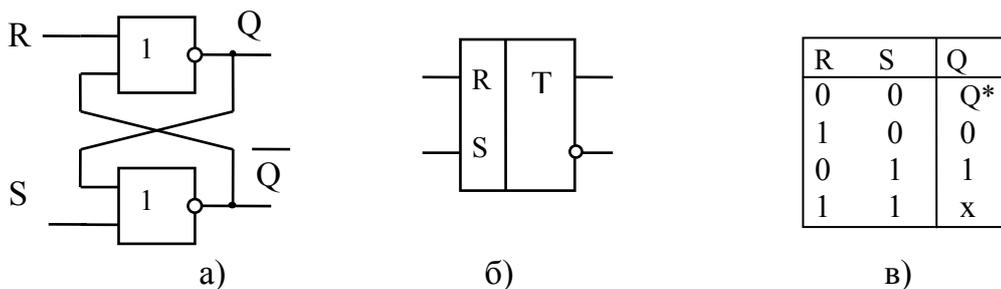


Рис. 3. Триггер RS- типа на логических элементах (а), его условное обозначение (б) и таблица состояния (в).

Триггер *RS-типа* может быть построен на логических элементах **2ИЛИ-НЕ** (рис. 3, а). Триггер имеет два входа: вход S для установки триггера в состояние 1; вход R для установки триггера в состояние 0. Работа триггера описывается таблицей состояния, где Q* - исходное состояние; x - неопределенное состояние (рис. 3, в).

Триггеры *D-типа* иногда называют триггерами задержки. На практике используются синхронные D- триггеры (рис. 4, а). Информационный вход D предназначен для установки триггера в 0 или 1. С - вход синхронизации. Логическое уравнение, описывающее работу D- триггера, имеет вид $Q_{n+1} = D_n$. В триггере записывается та информация, которая была на входе D до прихода импульса синхронизации.

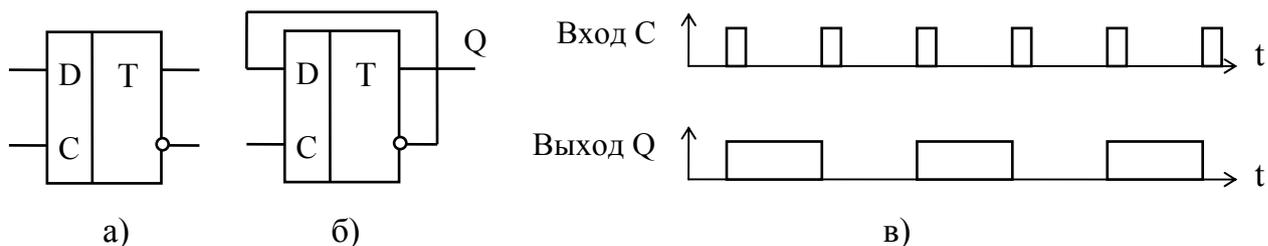


Рис. 4. Условное обозначение D- триггера (а), триггер со счетным входом (б), и временные диаграммы его работы (в).

Триггер *T-типа* (триггер со счетным входом) - это триггер с одним информационным входом, меняющий свое состояние на противоположное всякий раз, когда на его вход поступает управляющий сигнал. T- триггер может быть реализован на основе D-триггера, для этого инверсный выход соединяют с D- входом, а информационный сигнал подают на вход С. Триггер со счетным входом является делителем частоты, так как частота импульсов на выходе триггера в два раза ниже частоты импульсов на счетном входе триггера (рис. 4, в).

В лабораторной работе используются D-триггеры К561ТМ2. В корпусе микросхемы расположены два D-триггера (рис. 5, а). Входы R и S это входы независимой установки в состояние 0 и состояние 1, при этом сигналы на входах С и D могут быть любыми (x на рис. 5, б). Запись информации осуществляется в момент действия на входе С фронта импульса положительной полярности (перепада 0,1), при этом на входах R и S должен быть логический ноль (рис. 5, б). Логической единице соответствует напряжение высокого уровня. Q – прямой выход триггера (выводы 1 и 13 микросхемы).

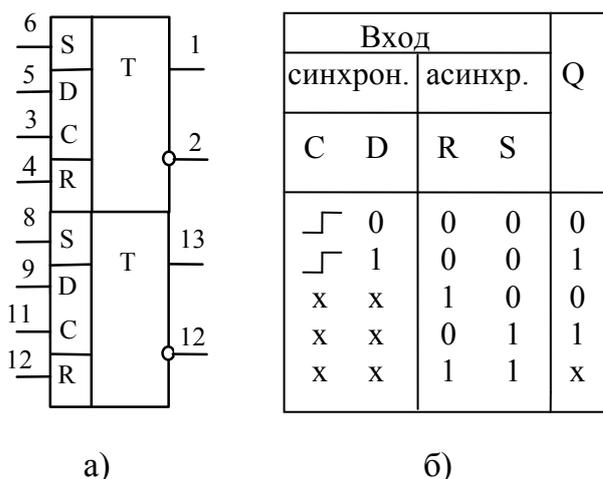


Рис. 5. Условное обозначение микросхемы К561ТМ2 (а) и таблица ее состояния (б)

2.3. Счетчики импульсов используют для деления частоты импульсов и для преобразования последовательного число-импульсного кода в параллельный двоичный или двоично-десятичный код.

2.3.1. Рассмотрим работу двоичного счетчика импульсов К176ИЕ1, условное графическое изображение которого представлено на рис. 6,а. Счетчик состоит из 6 последовательно соединенных триггеров со счетным входом. Выходы счетчика обозначены цифрами 1, 2, 4, 8, 16, 32 – это весовые коэффициенты первого, второго, третьего, и т.д. разрядов счетчика. По входу R осуществляется асинхронный сброс счетчика (на всех выходах устанавливается логический ноль).

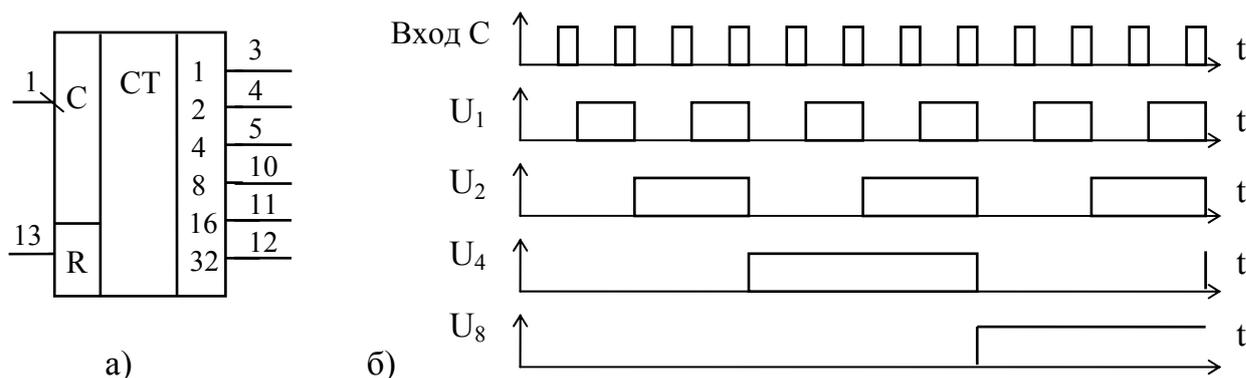


Рис. 6. Микросхема К176ИЕ1 (а), и временные диаграммы ее работы (б)

Если вход R микросхемы соединить с общим проводом, а на вход С подать последовательность импульсов (число-импульсный код), то состояние триггеров будет соответствовать двоичному коду числа импульсов. На рис. 6, б изображены временные диаграммы $U_1 - U_8$ выходных напряжений первых четырех триггеров (выводы 3, 4, 5 и 10). На выводе 12 напряжение появляется после 32 импульса, а после 64 - возвращается в ноль. Коэффициент деления частоты счетчика 2^n , где n – число двоичных разрядов.

2.3.2. Микросхема К176ИЕ2 (рис. 7, а) - счетчик, который может работать как двоичный и как десятичный. Счетчик имеет пять двоичных выходов (выводы 10 - 14) и один десятичный (вывод 15). По входам D0 – D3 можно записать в счетчик предварительные данные. По входу R счетчику дается асинхронный сброс, при этом на всех выходах устанавливается логический ноль.

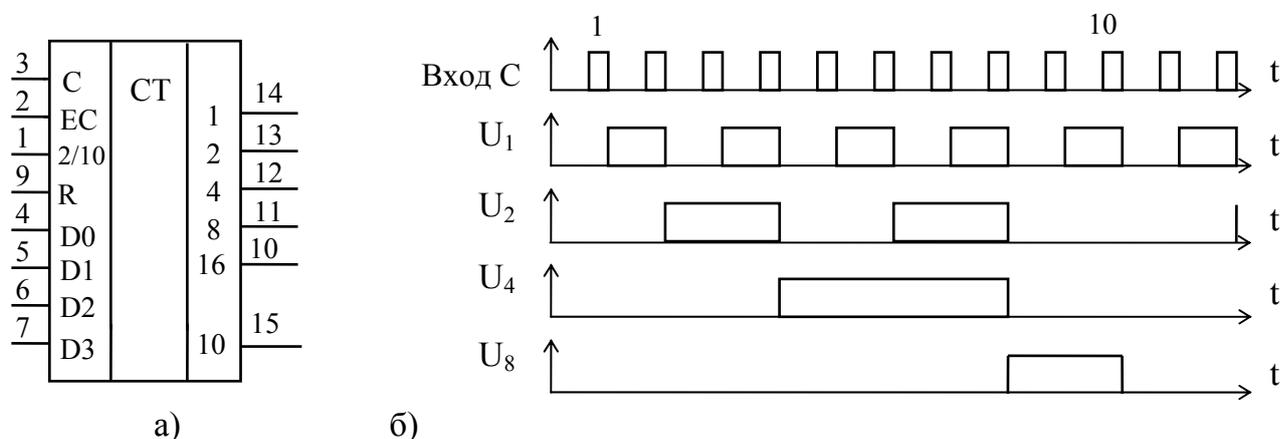


Рис. 7. Микросхема К176ИЕ2 (а), и временные диаграммы ее работы (б)

На вход С подается сигнал тактовой частоты. Вход ЕС служит для разрешения счета. По входу 2/10 осуществляется переключение счета. Если на входе 2/10 высокий уровень, счетчик работает как двоичный; при нулевом потенциале - как десятичный и на выводе 15 появляются импульсы с частотой $f/10$.

На рис. 7, б показана работа счетчика в десятичном режиме. При этом выводы 1, 4 - 8 необходимо соединить с общим проводом, вывод 2 соединить с выводом 16, на который подается напряжение питания. На вход С подана последовательность импульсов. После восьмого импульса на выходе 8 (вывод 11) появляется напряжение высокого уровня, а после десятого - нулевое. Счетчик работает с укороченным циклом и на его выходах образуется двоично-десятичный код (1-2-4-8).

2.3.3. Микросхема К561ИЕ8 - десятичный счетчик - делитель, имеющий 10 дешифрованных выходов 0 - 9. Схема счетчика содержит дешифратор, преобразующий двоичный код в сигнал на одном из десяти выходов (рис. 8).

Если на входе разрешения счета ЕС присутствует низкий уровень, счетчик выполняет свои операции синхронно с положительным перепадом напряжения на тактовом входе С. При высоком уровне напряжения на входе ЕС действие тактового входа запрещается и счет останавливается. При высоком уровне напряжения на входе сброса R счетчик очищается до нулевого отсчета.

На каждом выходе дешифратора высокий уровень напряжения появляется только на период тактового импульса с соответствующим номером (см. диаграммы на рис. 8, б). Счетчик имеет выход переноса Р, на котором формируется меандр с частотой в 10 раз меньшей входной. Положительный фронт выходного сигнала переноса появляется через 10 тактовых периодов. Максимальная тактовая частота для счетчика 2 МГц.

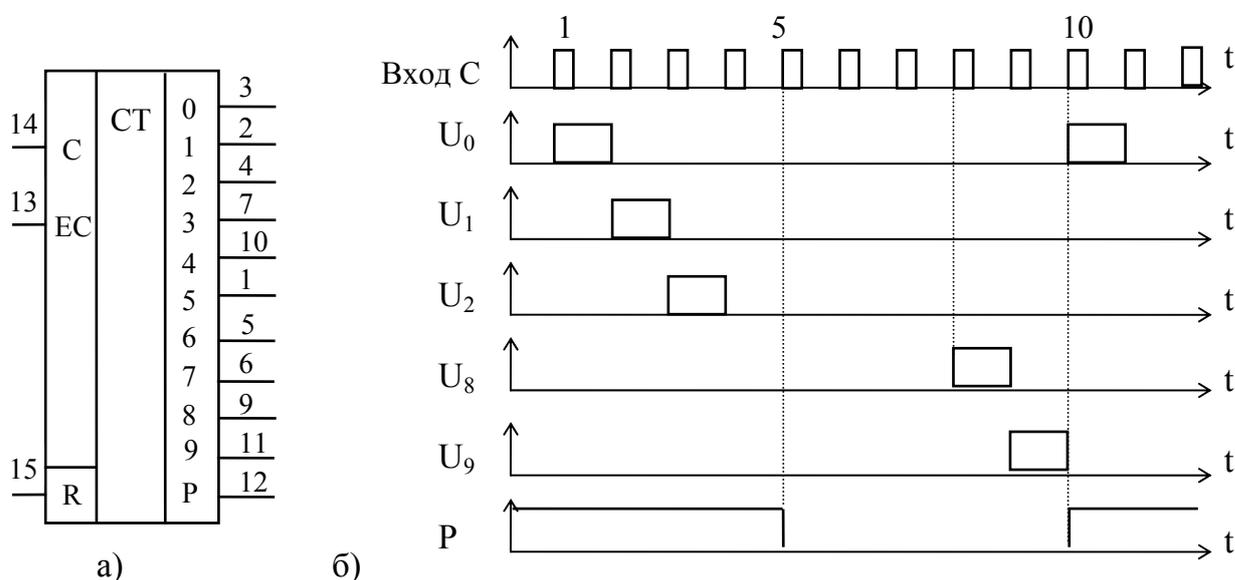


Рис. 8. Микросхема К561ИЕ8 (а), и временные диаграммы ее работы (б)

2.4. Знаковые индикаторы применяют для получения показаний в цифровой форме.

2.4.1. *Газоразрядные знаковые индикаторы.* Индикатор представляет собой стеклянный баллон, заполненный неонам. Внутри баллона расположены катоды, выполненные из тонкой проволоки в форме цифр от 0 до 9. Катоды располагаются

один за другим плотной группой (рис. 9, а). Если между анодом и каким либо из катодов приложить напряжение 170 - 200 В, то вокруг катода возникает красно - оранжевое свечение в форме соответствующей цифры.

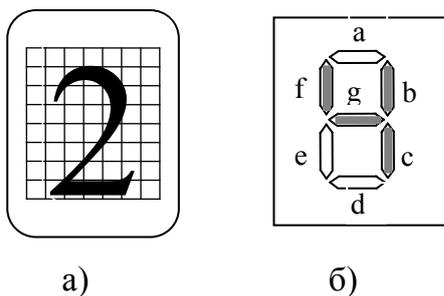


Рис. 9. Газоразрядный (а) и сегментный (б) знаковые индикаторы

2.4.2. Сегментные знаковые индикаторы.

Наибольшее распространение получили семи сегментные индикаторы. Комбинация светящихся элементов образует цифру, например 4 (рис. 9, б). В качестве светящихся элементов используют полосы электролюминофора, светодиоды и др.

Рассмотрим кратко устройство жидкокристаллических индикаторов (ЖК-индикаторов). В основу их работы положено свойство некоторых веществ изменять свои оптические показатели под влиянием внешнего электрического поля. Вследствие модуляции

падающего света изменяется цвет участка, к которому приложено электрическое поле, и на поверхности вещества появляется рисунок требуемой конфигурации.

Жидкие кристаллы это вещества имеющие анизотропию физических свойств, присущую твердым кристаллам, и текучесть, характерную для жидкостей. Эти вещества относятся к числу диэлектриков и имеют удельное сопротивление $10^6 - 10^{10}$ Ом см.

Типовая элементарная ячейка ЖК прибора для отображения информации состоит из двух прозрачных стеклянных пластин, между которыми помещены ЖК. С внутренней стороны пластин расположены электроды, выполненные в виде тонких, почти не видимых на стекле, токопроводящих полосок (рис. 10, а).

В цифровых ЖК - индикаторах прозрачные электроды выполнены в виде сегментов а - f, от которых сделаны отдельные выводы (рис. 10, б). Непрозрачный электрод изготавливают единым с одним (общим) выводом. При подаче напряжения на прозрачные сегментные электроды (относительно общего) под соответствующим сегментом появляется полоса, цвет которой резко отличается от окружающего фона. Сочетание этих полос образует требуемую цифру.

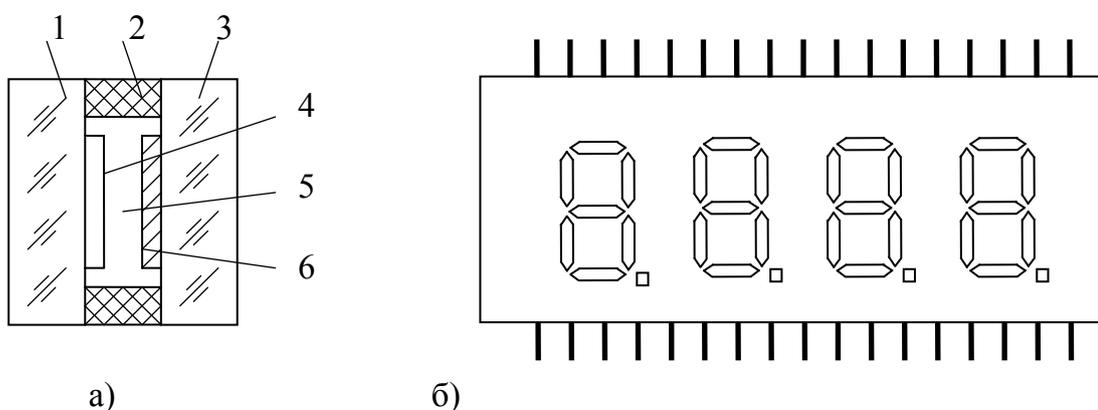


Рис. 10 Конструкция ЖК - индикатора, работающего на отражение (а), вид сверху на сегментный четырехразрядный ЖК - индикатор (б):

1, 3 - стеклянные пластины; 2 - склеивающее соединение; 4 - прозрачные электроды; 5 - ЖК; 6 - непрозрачный электрод

В качестве управляющего напряжения используют только переменное, так как при постоянном напряжении срок службы индикаторов снижается на порядок.

Часто используют так называемый фазовый метод управления, при котором на общий электрод, расположенный на задней поверхности, и электроды сегментов подают прямоугольные импульсы, сдвинутые между собой по фазе на 180° при возбуждении данного элемента и одинаковые по фазе, если данные элементы не должны иметь другой цвет.

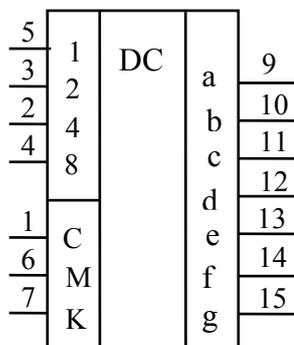


Рис. 11. Микросхема K176ИД2

в память происходит по фронту сигнала, подаваемого на вход С (при этом сигнал на входе К = 0). Если сигнал К = 1, дешифратор блокируется. На модуляторный вход М подаются прямоугольные импульсы. Дешифратор преобразует входной двоично-десятичный код в комбинацию сигналов на соответствующих выходах. Например, для кода 0100 (цифра 4), сигналы будут на выводах b, c, f, и g, которые подключаются к соответствующим сегментам индикаторов (рис. 9, б).

2.6. Компараторы напряжения - специализированные микросхемы с дифференциальным входом, применяемые для преобразования входных аналоговых сигналов в цифровую форму, для сравнения двух сигналов и т. д. Преобразование осуществляется путем сравнения входного аналогового сигнала с некоторым образцовым (опорным) напряжением $U_{оп}$. Компаратор вырабатывает выходной цифровой сигнал (с уровнем логической 1 или логического 0) в зависимости от соотношения уровней входного и опорного напряжений.

Как правило, компараторы строятся на основе операционных усилителей. Их выходной каскад обычно представляет собой узел формирования сигналов высокого и низкого уровней, соответствующих одному из стандартов цифровой логики (ТТЛ, КМОП и т. д.). По сравнению с операционными усилителями компараторы имеют повышенное быстродействие, в них отсутствует частотная коррекция.

Рассмотрим компаратор K554СА3, схема включения которого изображена на рис. 12. У компаратора два выхода: открытый коллектор - вывод 9 и открытый эмиттер - вывод 2. Для сопряжения с КМОП - логикой между выводом 9 и источником питания (+U) включен резистор $R = 1 - 10$ кОм. Если входной сигнал $U_{вх}$, поданный на инвертирующий вход, меньше (по абсолютной величине) опорного напряжения $U_{оп}$, поданного на неинвертирующий вход, то на выходе вырабатывается сигнал логического 0, а если больше, - сигнал логической 1.

На рис. 12, б представлены временные диаграммы напряжений при входном синусоидальном сигнале.

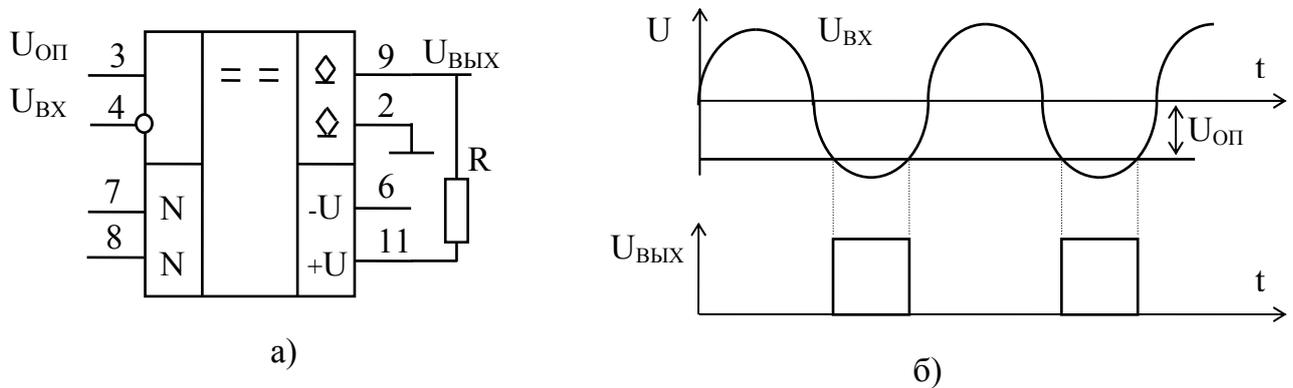


Рис. 12. Схема включения компаратора К554СА3 с коллекторным выходом (а) и временные диаграммы напряжений (б)

2.7. Мультивибраторы. Эти схемы генерируют прямоугольное напряжение, поэтому их называют генераторами импульсов. Если к стабильности частоты импульсов не предъявлено особых требований, то мультивибраторы могут быть реализованы на логических элементах. Одна из схем мультивибратора, выполненного на RC - цепи и двух логических элементах **2И-НЕ** изображена на рис. 13, а. Цепи питания не показаны. Входы логических элементов объединены, поэтому их можно рассматривать как инверторы, упрощенная схема которых изображена на рис. 14, а.

Рассмотрим механизм возникновения колебаний. На рис. 13, б показаны временные диаграммы напряжений U_1 и U_2 на входе и выходе элемента DD1, измеренные относительно общей точки.

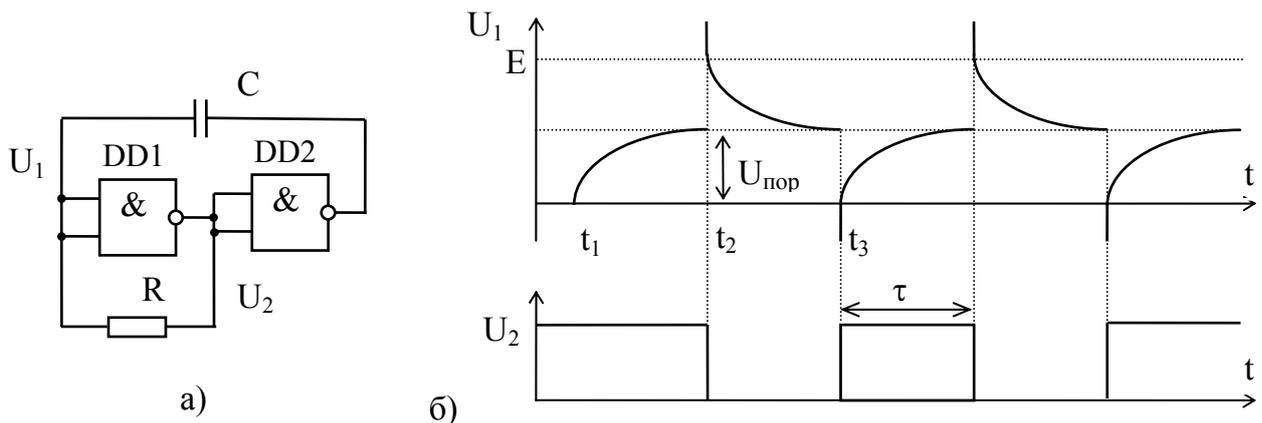


Рис. 13. Схема мультивибратора (а) и временные диаграммы его работы (б)

Допустим в момент t_1 конденсатор разряжен, а на выходе инвертора DD1 логическая 1. На выходе инвертора DD2 логический 0 и конденсатор C начинает заряжаться через резистор R от выходного напряжения DD1, которое приблизительно равно напряжению питания E.

В момент t_2 напряжение на конденсаторе U_C достигает порогового напряжения $U_{пор}$, логический элемент DD1 переключается в логический 0, а DD2 - в логическую 1. На входе DD1 напряжение кратковременно возрастает до напряжения $U_{ВХ} = E + U_{пор}$. Конденсатор быстро разряжается ($U_C = 0$) через входную цепь логического элемента DD1 (через диод VD1; рис. 14, а). Затем конденсатор заряжается через резистор R.

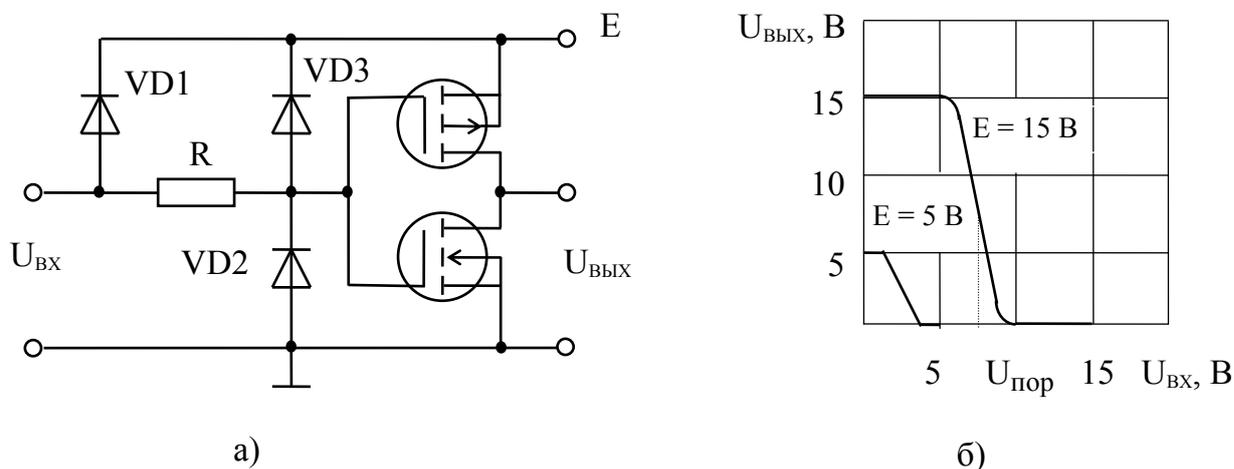


Рис.14. Логический элемент КМОП: а - входная цепь; б - передаточная функция

В момент t_3 напряжение U_1 уменьшится до порогового напряжения $U_{пор}$, логический элемент DD1 переключается в логическую 1, а DD2 - в логический 0. На входе DD1 кратковременно возникает отрицательное напряжения $U_{ВХ} = -U_{пор}$, так как конденсатор быстро разряжается до 0 через диод VD2 входной цепи инвертора (рис. 14, а). Затем конденсатор начинает заряжаться через резистор R от выходного напряжения DD1, т.е. процесс повторяется. Заряд конденсатора происходит по экспоненте

$$U_C = E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

Переключение инвертора происходит при $U_{пор} \approx 0,5 E$, поэтому $\tau = RC \ln 2 = 0,7 RC$. С учетом того, что время заряда конденсатора в оба полупериода приблизительно равны, период выходного напряжения $T = 1,4 RC$.

2.8. Формирователи коротких импульсов. При реализации цифровых устройств различного назначения часто необходимо сформировать короткие импульсы по фронтам входного сигнала, в частности такие импульсы используются для сброса счетчиков, в качестве импульсов синхронизации при записи информации в регистры памяти и т. д. Эти формирователи выполняют на логических элементах И-НЕ и ИЛИ-НЕ.

На рис. 15 изображены схема и временные диаграммы формирователя коротких положительных импульсов по отрицательному перепаду напряжения на его входе.

Логический элемент DD1 включен инвертором. Длительность переднего и заднего фронтов его выходного напряжения определяется временем перезарядки конденсатора C через выходное сопротивление логического элемента.

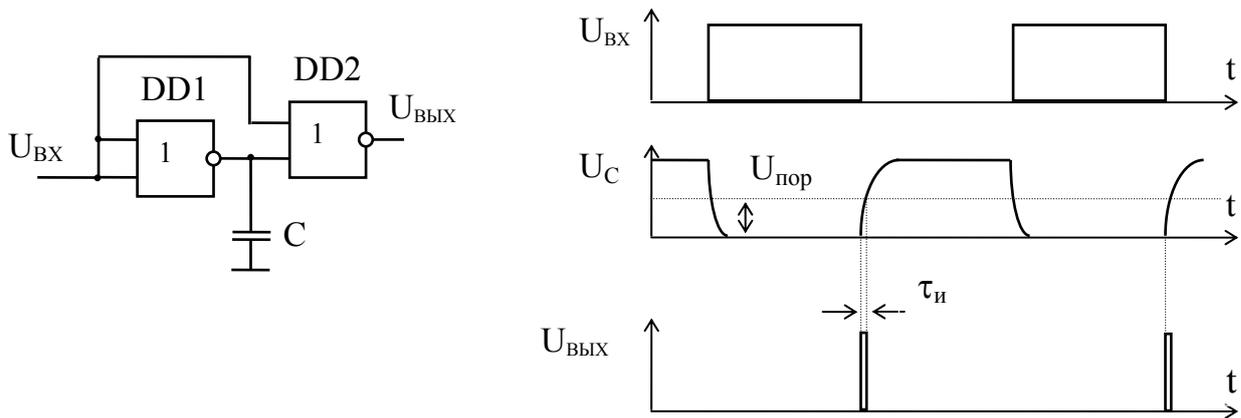


Рис. 15. Формирователь импульсов по спаду входного сигнала

В момент окончания входного импульса на первом входе схемы ИЛИ-НЕ (элемент DD2) напряжение становится равным нулю, напряжение на конденсаторе, подключенном ко второму входу, также равно нулю, и на выходе схемы 2ИЛИ-НЕ появляется логическая 1. Конденсатор C начинает заряжаться и в момент равенства $U_C = U_{\text{пор}}$ на втором входе схемы ИЛИ-НЕ появляется логическая 1 и ее выходное напряжение становится равным нулю.

Длительность выходного импульса $\tau = 0,7 R_{\text{ВЫХ}} C$, где $R_{\text{ВЫХ}}$ - выходное сопротивление логического элемента. Для серии К561 $R_{\text{ВЫХ}} \approx 600 \text{ Ом}$.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какую функцию выполняют логические элементы И-НЕ, ИЛИ-НЕ ?
2. Что такое D - триггер ?
3. Как из D - триггера сделать триггер со счетным входом ?
4. На каких элементах выполнены двоичные счетчики ?
5. Чем отличаются двоичные счетчики от двоично-десятичных ?
6. В чем отличие компараторов напряжения от операционных усилителей?
7. Каково назначение дешифраторов ?
8. Какие знаковые индикаторы используются в цифровых приборах ?
9. Чем определяется частота колебаний генератора прямоугольных импульсов ?
10. Для чего используют счетчики импульсов ?
11. Чему равен коэффициент деления частоты двух последовательно соединенных триггеров со счетным входом ?
12. Что означают выражения “логический 0 и логическая 1” ?

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Цифровые и цифро-аналоговые микросхемы входят в состав цифровых измерительных устройств (ЦИУ), расположенных на макете. Принципиальные схемы ЦИУ, расположение элементов схем на плате макета, а также их перечень приведены в приложение.

В правой части макета расположен блок счетчиков, состоящий из счетчиков импульсов (микросхемы DD8 - DD11), дешифраторов (микросхемы DD12 - DD15), и четырехразрядного жидкокристаллического индикатора. Компараторы напряжения

входят в состав цифровых устройств, предназначенных для измерения частоты, периода и фазы переменного напряжения (микросхемы DA1, DA2 и DA5). На микросхемах DD4 - DD7 собраны генераторы прямоугольных импульсов, а на микросхеме DD16 - формирователи коротких импульсов.

Питание цифровых микросхем и операционных усилителей осуществляется от источника напряжения "Сура". В качестве источника сигнала используются генератор сигналов низкочастотный ГЗ-109. Кроме того, в лабораторной работе используется электронно-лучевой осциллограф С1-55, частотомер ЧЗ-34 и вольтметр универсальный цифровой В7-35.

5. ПРОГРАММА РАБОТЫ

5.1. Исследовать схемы генераторов прямоугольных импульсов и формирователей коротких импульсов, выполненных на КМОП - инверторах.

5.2. Изучить применение D-триггеров и счетчиков импульсов серии К561.

5.3. Изучить принцип действия и схемы подключения жидкокристаллических знаковых индикаторов.

5.4. Исследовать схемы сравнивающих устройств и формирователей на основе компаратора напряжения К554СА3.

5.5. Оформить отчет по проделанной работе.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Логические элементы, триггеры, счетчики импульсов, дешифраторы и компараторы напряжения входят в состав цифровых измерительных устройств собранных на макете.

Включить источник питания "Сура" и установить на его выходе напряжения + 12 В и - 12 В. Напряжения измерять цифровым вольтметром В7-35.

ВНИМАНИЕ ! Сборку схем проводить при выключенном источнике питания.

6.1. В генераторах импульсов в качестве инверторов использованы логические элементы 2И-НЕ микросхемы К561ЛА7. Входы логических элементов объединены, поэтому происходит инвертирование входного сигнала.

Снять временные диаграммы напряжений генератора, собранного на элементах DD4.3 и DD4.4. Для этого подключить Вход Y1 осциллографа С1-55 к выходу логического элемента DD4.4 (контрольная точка КТ1), а Вход Y2 - по очереди к выходу (контакт 10) и ко входу (контакты 8 и 9) элемента DD4.3. Синхронизацию развертки осциллографа осуществить от первого канала. Измерить период колебаний генератора, подключив частотомер ЧЗ-34 к контрольной точке. Рассчитать период выходного напряжения генератора и сравнить с полученными данными.

Аналогичным образом исследовать генератор импульсов, собранный на элементах DD4.1 и DD4.2, при этом Вход Y1 осциллографа С1-55 подключить к выходу 1 мкс (1 μ S) макета. Обратит внимание на увеличение длительности выходных импульсов при подключении осциллографа ко входу инвертора DD4.1. Объяснить наблюдаемое явление, почему оно в меньшей степени сказывается при исследовании генератора на элементах DD4.3 и DD4.4.

6.2. Формирователи коротких импульсов собраны на микросхеме K561ЛЕ5 (DD16). Два формирователя соединены последовательно.

Соединить Вход 3 макета с выходом $T = 10$ мкс ($10 \mu\text{S}$). Снять осциллограммы формирователей. Для этого на Вход Y1 осциллографа C1-55 подать входной сигнал ($T = 10$ мкс). Вход Y2 осциллографа подключить по очереди к выходам логических элементов DD16.1 - DD16.4. Измерить осциллографом C1-55 длительности выходных импульсов формирователей (на выходах логических элементов DD16.2 и DD16.4; выводы 4 и 11). Рассчитать длительности импульсов (пункт 2.8) и сравнить с измеренными.

6.3. Счетчики импульсов.

Исследование счетчиков сводится к наблюдению временных диаграмм (осциллограмм) сходных и выходных сигналов двухлучевым осциллографом C1-55. Для получения устойчивого изображения синхронизацию развертки осуществить от выходного сигнала счетчиков (переключатель СИНХРОНИЗАЦИЯ установить в положение ВНУТР. 2).

6.3.1. Снять осциллограммы выходных напряжений двоичного счетчика K176ИЕ1 (DD7). Для этого подключить Вход Y1 осциллографа C1-55 ко входу С счетчика (контрольная точка КТ1), а Вход Y2 - по очереди к выходам счетчика 1, 2, 4. Определить частоту выходных импульсов (на одном из выходов). Частоту измерять прибором ЧЗ-34. Определить коэффициент деления частоты входных импульсов на выходе 32 (контакт 12 микросхемы DD7).

6.3.2. Снять осциллограммы выходных напряжений счетчика K561ИЕ8 (DD5). Для этого подключить Вход Y2 осциллографа C1-55 к выходу Р (контакт 12), а Вход Y1 - по очереди ко входу С счетчика (выход $1 \mu\text{S}$ макета) к выходам счетчика 0, 1, 9. Определить коэффициент деления счетчика по выходу 8 (контакт 9 микросхемы).

6.3.3. Исследовать включение микросхемы K176ИЕ2 в режиме десятичного счетчика. Для этого вход формирователей (Вход 3 макета) соединить с общим проводом, на входе R счетчика логический 0.

Вход 1 макета (вход С микросхемы DD8) соединить с выходом 10 мкс макета. Вход 2 макета (вход ЕС микросхемы) соединить с общим проводом и убедиться в отсутствии сигналов на выходе микросхемы.

На Вход 2 макета подать логическую 1 (соединить Вход 2 с контактом 16 DD8). Соединение проводить при выключенном источнике питания, для исключения подачи напряжения питания на выход 10 микросхемы, которое может произойти при случайном замыкании контактов 15 и 16. Снять осциллограммы напряжений на входе С и выходах 1, 4, 8 счетчика DD8 (Вход Y1 осциллографа C1-55 подключить ко входу С счетчика).

Вход 1 макета соединить с общим проводом, а на Вход 3 макета подать импульсы напряжения с выхода 0,1с ($0,1 \text{ S}$) макета и убедиться, что на всех выходах счетчика появляется логический 0 (происходит сброс счетчика в ноль импульсом положительной полярности).

6.4. Исследовать включение дешифратора K176ИД2 и ЖК - индикатора.

Подключить Вход 1 к контрольной точке КТ1, а Вход 3 - к выходу $T = 0,1 \text{ S}$ макета. Подать на Вход 2 логическую 1.

Подключить Вход Y1 осциллографа к контрольной точке КТ1, которая соединена с модулятором М дешифратора (контакт 6 микросхемы DD12). Вход Y2 осциллографа по очереди подключить к выходам *a* - *g* дешифратора DD12. Определить на каких выходах прямоугольное напряжение находится в противофазе напряжению, поданному на модулятор М. Проверить соответствие полученных результатов и показаний младшего разряда цифрового индикатора.

6.5. Компараторы напряжения К554СА3. На макете компараторы включены по схеме с коллекторным выходом. Вывод 9 микросхем через резистор R подключен к напряжению питания +12 В, а вывод 2 - к общему проводу.

Для исследования компаратора DA1 его неинвертирующий вход соединить с движком переменного резистора R4 (контакт U_x). Установить напряжение U_x , которое в данном случае является опорным напряжением $U_{оп}$, в пределах от - 0,1 до - 5 В. Подать на инвертирующий вход компаратора (вход U1) с выхода 1 генератора ГЗ-109 переменное напряжение частотой 1 кГц и амплитудой $U_m > U_{оп}$. Снять осциллограммы напряжений.

Включить компаратор напряжения DA1 в режим формирования прямоугольного напряжения. Для этого его неинвертирующий вход подключить к общему проводу. Для нескольких амплитуд входного напряжения частотой 1 кГц измерить длительность выходных импульсов τ и период T их повторения. Входное напряжение U1 изменять от 50 до 400 мВ. Измерения проводить прибором ЧЗ-34. Определить ошибку формирования для различных амплитуд $\Delta_\phi = 0,5 T - \tau$.

Определить частотный диапазон формирования. Для этого необходимо определить зависимость амплитуды выходных импульсов компаратора от изменения частоты входного напряжения амплитудой 1 В. Измерения проводить осциллографом. Частоту входного сигнала изменять в пределах от 1 до 100 кГц. Определить длительность переднего фронта выходного сигнала.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

7.1. Название и цель работы.

7.2. Схемы генераторов и формирователей импульсов. Рассчитанные и экспериментально полученные параметры выходных импульсов генераторов. Осциллограммы напряжений.

7.3. Временные диаграммы работы счетчиков импульсов.

7.4. Привести схему подключения ЖК - индикатора к дешифратору, осциллограммы выходных напряжений дешифратора.

7.5. Схемы сравнивающего устройства и формирователя прямоугольного напряжения. Осциллограммы напряжений и экспериментально полученные характеристики.

7.6. Анализ полученных результатов, основные выводы по работе.

ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СЧЕТА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить метод последовательного счета.

1.2. Получить навыки применения основных узлов цифровых измерительных устройств: триггеров; счетчиков; дешифраторов; сравнивающих устройств; знаковых индикаторов.

1.3. Изучить методы измерения периода переменного напряжения, разности фаз, постоянного напряжения, основанные на промежуточном преобразовании измеряемой величины в интервал времени.

2. КРАТКИЕ ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

2.1. **Общие сведения.** Цифровыми называют приборы, автоматически вырабатывающие дискретные сигналы измерительной информации, показания которых представляются в цифровой форме. В цифровых приборах в соответствии с размером измеряемой величины образуется код, который представляется на отсчетном устройстве в цифровой форме.

Одним из методов преобразования аналоговой измеряемой величины в цифровой код является метод последовательного счета. При этом методе происходит последовательное во времени сравнение измеряемой величины x с известной квантованной величиной x_k , изменяющейся во времени скачками, причем каждый скачок соответствует шагу квантования по уровню. Число ступеней, при котором наступает равенство $x_k(t_{и}) = x$, равно номеру отождествляемого уровня квантования (рис. 1, а). В процессе сравнения образуется единичный код.

Временной интервал t_x измеряется путем счета квантующих импульсов стабильной частоты $f_0 = 1 / T_0$, прошедших в счетчик импульсов за время t_x .

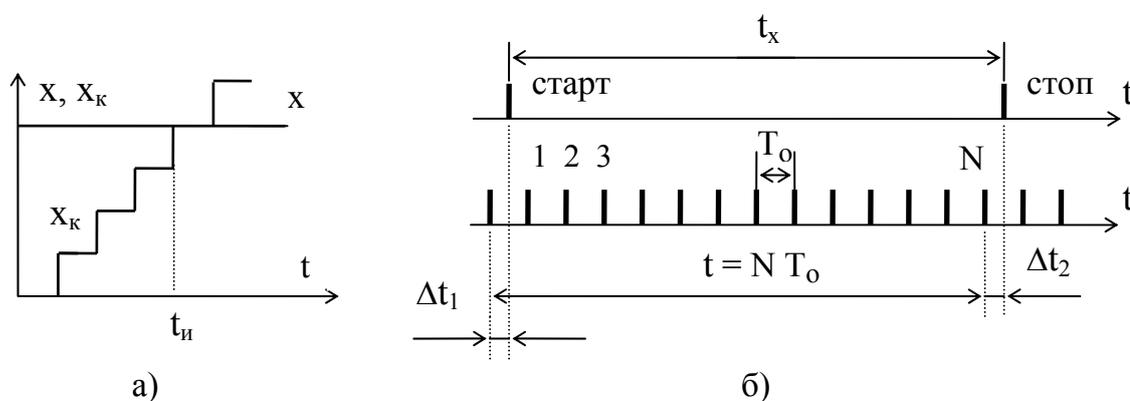


Рис. 1. Диаграммы преобразований непрерывной измеряемой величины (а) и интервала времени (б) в код

2.2. Основные характеристики цифровых приборов

К основным техническим характеристикам цифровых измерительных приборов (ЦИП) относятся: диапазон измерений; чувствительность; точность; быстродействие; входное сопротивление; помехоустойчивость.

Каждый ЦИП характеризуется определенным диапазоном измеряемой величины. Обычно общий диапазон измерений подразделяется на несколько поддиапазонов, переключаемых вручную или автоматически.

Чувствительность ЦИП определяется как значение измеряемой величины, приходящейся на единицу дискретности, т. е. на один квант.

Количественно точность ЦИП оценивается погрешностями. Погрешность любого ЦИП содержит две составляющие. Первая включает в себя методическую погрешность дискретности Δx_d . Вторая составляющая возникает от несовершенства элементов прибора и, следовательно, является инструментальной погрешностью.

Рассмотрим погрешности от дискретности, возникающие при квантовании временного интервала (рис. 1, б). В общем случае t_x не кратно T_0 и поэтому возникает погрешность $\Delta t = t - t_x$, где $t = N T_0$ (N - число импульсов, зарегистрированных счетчиком импульсов). Эта погрешность зависит от временного сдвига старт- и стоп-импульсов относительно квантовых импульсов и выражается в виде двух составляющих: Δt_1 и Δt_2 , т. е. $\Delta t = \Delta t_1 - \Delta t_2$.

Первую составляющую Δt_1 называют погрешностью синхронизации. Она всегда находится в пределах $0 - T_0$. Вторая составляющая погрешности Δt_2 находится в пределах от $-T_0$ до 0 . Обе составляющие имеют равномерный закон распределения. Результирующая предельная погрешность $\Delta t_m = \pm T_0$; относительная результирующая предельная погрешность от дискретности

$$\delta_d = \pm T_0 / t_x \approx \pm T_0 / (N T_0) = \pm 1 / N.$$

Быстродействие ЦИП характеризуется длительностью одного цикла измерений или количеством измерений в секунду

2.3. Приборы для измерения интервала времени.

Временной интервал t_x может быть измерен путем подсчета числа квантовых импульсов стабильной частоты $f_0 = 1/T_0$, прошедших на счетчик импульсов за время t_x .

Структурная схема цифрового измерительного устройства (ЦИУ) временного интервала t_x , ограниченного старт- и стоп-импульсами, изображена на рис. 2.

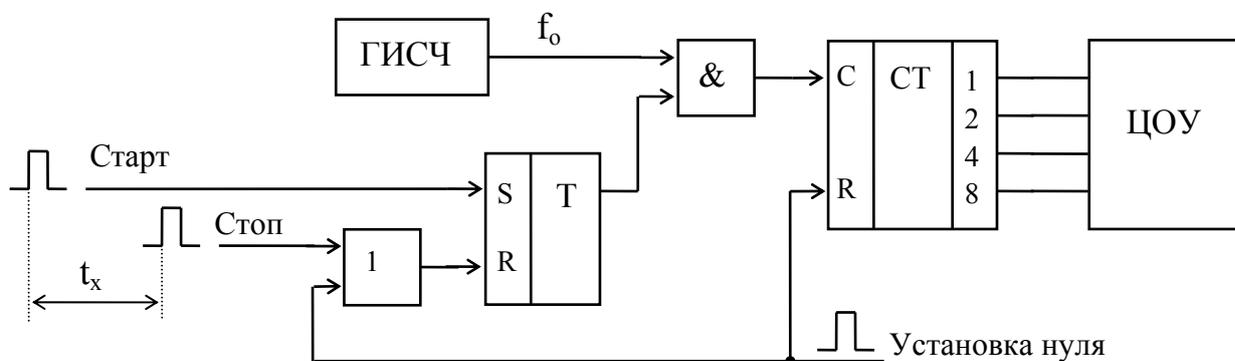


Рис. 2. Упрощенная структурная схема ЦИУ временного интервала

Цикл преобразования начинается с установки нуля, т. е. установки счетчика СТ и триггера Т в исходное состояние. При поступлении старт-импульса, триггер переводится в единичное состояние и открывает схему И. Импульсы с генератора импульсов стабильной частоты ГИСЧ начинают поступать на вход счетчика СТ. В момент окончания интервала t_x стоп-импульс переводит триггер в исходное состояние, схема И закрывается и на цифровом отсчетном устройстве ЦОУ фиксируется число $N = t_x / T_0 = t_x f_0$.

В рассмотренном устройстве кроме погрешности от дискретности, зависящей от соотношения t_x и T_0 , присутствует погрешность от нестабильности частоты f_0 генератора ГИСЧ.

Приведенная выше структурная схема лежит в основе цифровых приборов, предназначенных для измерения длительности импульса, периода, частоты, фазы и напряжения. Для упрощения на структурных схемах показан один десятичный разряд.

2.4. Рассмотрим ЦИУ длительности импульса, упрощенная структурная схема которого приведена на рис. 3. Входные импульсы должны быть положительной полярности с амплитудой достаточной для переключения схемы И. Входной импульс длительностью τ открывает схему совпадения (схему И) и на счетчик СТ проходит число импульсов $N = \tau / T_0 = \tau f_0$. Двоично-десятичный код, образовавшийся на выходе счетчика, поступает на вход дешифратора DC, имеющего внутренний регистр памяти. Дешифратор управляет семисегментным цифровым индикатором ЦИ.

В момент окончания входного импульса формируется короткий импульс “Запись” (выходной импульс формирователя F1) и параллельный двоично-десятичный код счетчика переписывается в регистр памяти дешифратора. Спадом импульса “Запись” запускается формирователь F2, который вырабатывает импульс “Сброс” (рис. 3, б) и счетчик СТ переводится в нулевое состояние. С приходом следующего входного импульса процесс повторяется.

Рассмотренное устройство может применяться для измерения одиночных и периодически повторяющихся импульсов.

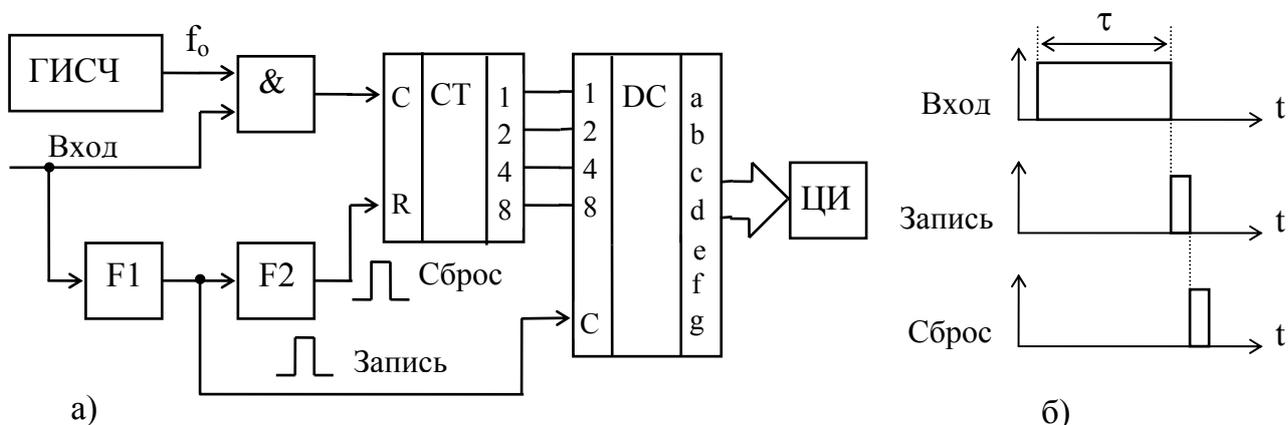


Рис. 3. Структурная схема (а) и временные диаграммы (б) ЦИУ длительности импульса

Принципиальная схема ЦИУ длительности импульса приведена в приложении. Счетчик импульсов выполнен на четырех последовательно соединенных двоично-

десятичных счетчиках К176ИЕ2 (микросхемы DD8 - DD11). На Вход 1 (счетный вход С) подаются импульсы напряжения стабильной частоты с генератора ГИСЧ, собранного на микросхемах DD4 и DD5. Генератор вырабатывает два напряжения с периодами повторения импульсов 1 мкс и 10 мкс. На Вход 2 (вход ЕС разрешения счета) подается импульс напряжения, длительность которого нужно измерить. В качестве схемы совпадения используется внутренняя схема И микросхемы DD8.

К выходам дешифраторов DD12 - DD15 (К176ИД2) подключен четырехразрядный жидкокристаллический цифровой индикатор ИЖЦ5 - 4 / 8. На логических элементах 2И-НЕ (DD4.3, DD4.4) выполнен генератор прямоугольных импульсов, предназначенный для создания напряжения питания цифрового индикатора. На микросхеме DD16 (К561ЛЕ5) собраны формирователи F1 и F2 коротких импульсов.

2.5. Частотомеры. Принцип действия прибора основан на подсчете импульсов частотой f_x за интервал времени $t_{ин}$. Входное напряжение синусоидальной формы, частоту которого нужно измерить, преобразуется формирователем в прямоугольные импульсы, поступающие на схему совпадения (Вход 1). На второй вход схемы совпадения (Вход 2) с генератора интервала времени ГИВ поступают импульсы длительностью $t_{ин}$. За это время импульсы частотой f_x пройдут на вход счетчика СТ в количестве $N = t_{ин} / T_x = t_{ин} f_x$. Если $t_{ин} = 1$ секунде, то цифровой индикатор будет показывать частоту в Гц.

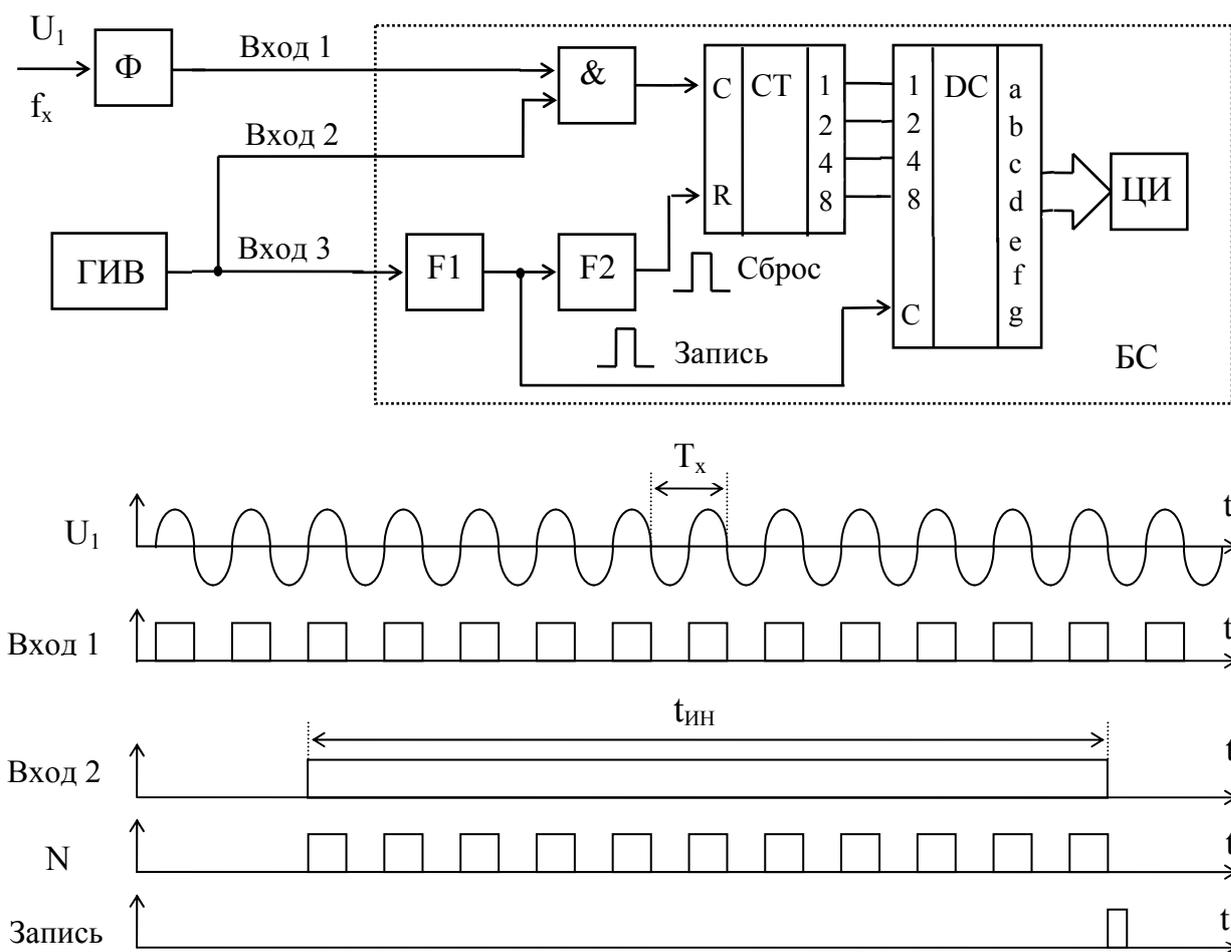


Рис. 4. Структурная схема частотомера и временные диаграммы, поясняющие его работу

Выходные импульсы генератора ГИВ поступает также на вход формирователя F1 (Вход 3). Спадом этих импульсов происходит запись кода счетчика СТ в регистр памяти дешифратора DC и сброс счетчика в ноль. Более подробно преобразование единичного кода в показания цифрового индикатора рассмотрено в ЦИУ длительности импульса (рис. 3).

Совокупность схемы совпадения, счетчиков импульсов, дешифраторов, цифрового индикатора и формирователей F1 и F2 можно объединить в один узел и условно назвать блоком счетчиков БС. Этот блок является составной частью всех цифровых измерительных устройств, основанных на методе последовательного счета.

Погрешность прибора прежде всего определяется точностью задания интервала времени $t_{ин}$. Другой составляющей погрешности цифровых частотомеров является погрешность от дискретности $\delta_d = \pm 1/N$. Относительная погрешность измерения частоты $\delta = \pm(\delta_0 + 1/N)100$, где δ_0 - нестабильность (неточность установки) длительности импульса генератора ГИВ.

Очевидно, что с увеличением значения измеряемой частоты δ_d падает. При измерении низких частот погрешность дискретности становится определяющей. Так при измерении частоты промышленной сети $\delta_d = (1/50)100 = 2\%$. Для снижения погрешности можно измерять f_x за 10 и 100 секунд но при этом снижается быстродействие прибора. Для сигналов с низкой частотой более рациональным оказывается измерение периода.

2.6. Периодомеры. Принцип действия устройства основан на преобразовании измеряемого периода T_x в длительность импульса с последующим измерением его длительности. Структурная схема периодомера изображена на рис. 5, а. Переменное напряжение U_1 , период которого подлежит измерению, поступает на формирователь Ф, выходное прямоугольное напряжение которого поступает на счетный вход триггера. Длительность импульсов, возникающих на выходе триггера равна измеряемому периоду T_x (рис. 5, б). Работа ЦИУ длительности импульса описана в пункте 2.4. Число импульсов стабильной частоты f_0 , прошедших на вход счетчика $N = T_x f_0$.

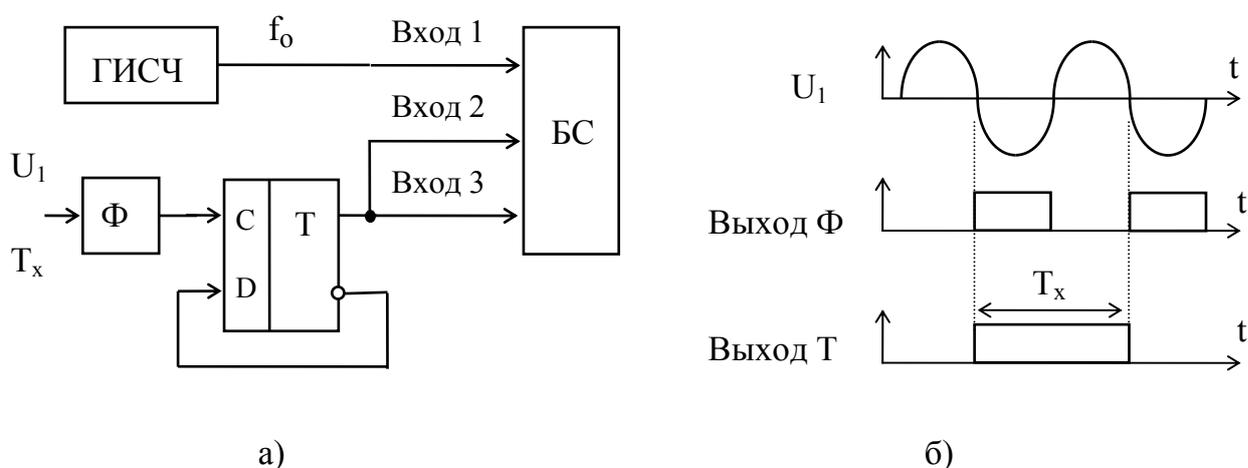


Рис. 5. Структурная схема периодомера (а) и временные диаграммы (б), поясняющие его работу

Например, если $f_0 = 100$ кГц и измеряется период промышленной сети $T = 20$ мс, то $N = f_0 T = 2000$ и относительная погрешность от дискретности $\delta_d = \pm 100 / 2000 = \pm 0,05$ %. Недостатком определения частоты с помощью цифрового периодомера является необходимость пересчета показаний в соответствии с формулой $f_x = 1 / T_x$.

В принципиальных схемах частотомера и периодомера используется схема блока счетчиков БС, описанная выше. На компараторе К554СА3 (микросхема DA1) собран входной формирователь Φ , преобразующий синусоидальное напряжение в прямоугольное.

В частотомере генератор интервала времени ГИВ выполнен на микросхемах DD4, DD6, DD7. На элементах DD4.3 и DD4.4 собран генератор прямоугольного напряжения частотой 320 Гц. К выходу генератора подключен делитель частоты, выполненный на двоичном счетчике К176ИЕ1, с выхода 32 которого снимаются выходные импульсы длительностью 0,1 секунды ($f = 5$ Гц). На микросхеме К561ИЕ8 (DD6) выполнен делитель частоты на 10.

В периодомере на D-триггере К561ТМ2 (DD2.2) собран триггер со счетным входом (D-вход соединен с инверсным выходом).

2.7. Фазометры. Угол фазового сдвига φ_x между напряжениями U_1 и U_2 легко преобразовать во временной интервал t_x . Формирователи Φ_1 и Φ_2 (рис. 6, а) преобразуют синусоидальные напряжения U_1 и U_2 в прямоугольные напряжения U_1' и U_2' (рис. 6, б). К выходам формирователей подключена схема исключаящее ИЛИ. На ее выходе сигнал логической единицы появляется только при неравнозначных входных сигналах (диаграмма φ_1 на рис. 6, б). На выходе схемы исключаящее ИЛИ (выход φ_1) формируется положительный импульс напряжения, измеряя длительность которого t_x , можно определить разность фаз \square

$$\varphi_x = 2\pi t_x / T_x = 2\pi N T_0 f_x,$$

где $T_x = 1/f_x$ - период напряжений U_1 и U_2 , N - количество импульсов стабильной частоты f_0 , прошедших в блок счетчиков БС за время t_x .

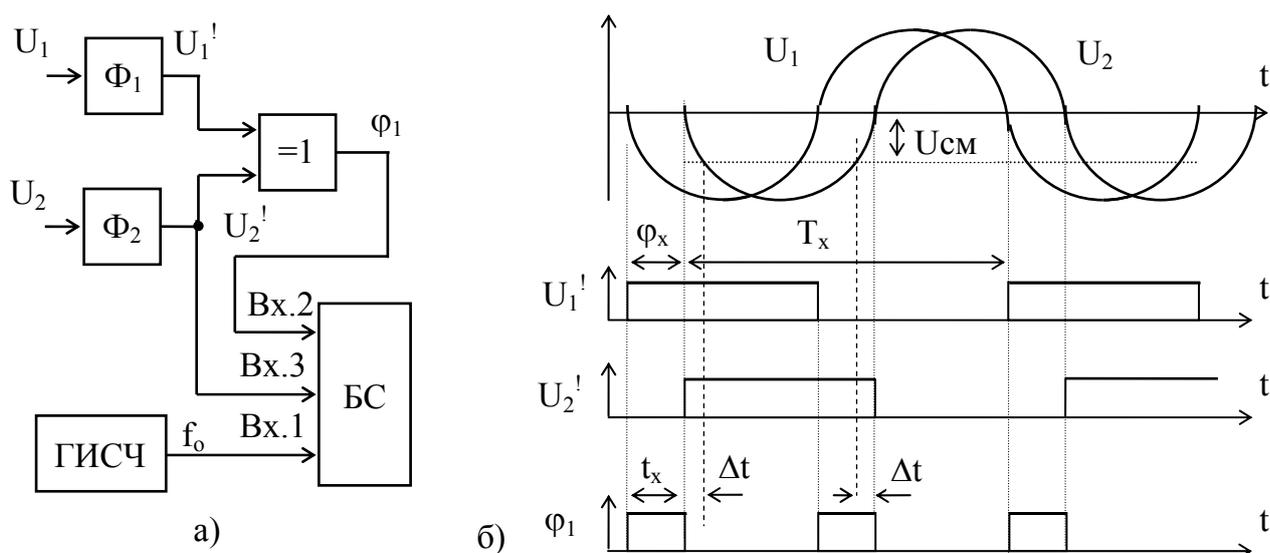


Рис. 6. Структурная схема фазометра (а) и временные диаграммы (б), поясняющие его работу

Для измерения временного интервала t_x необходимо выход схемы исключающее ИЛИ соединить со входами 2 и 3 блока счетчиков БС, а на Вход 1 БС подать импульсы стабильной частоты с генератора ГИСЧ. Недостатком приведенной схемы измерения разности фаз является относительно низкая точность формирования интервала t_x . Погрешность формирования возникает тогда, когда амплитуда входных напряжений соизмерима с напряжениями смещения компараторов К554СА3, на которых выполнены формирователи.

Допустим формирователь Ф2 имеет напряжение смещения $U_{см}$, это приведет к возрастанию длительности импульса t_x на Δt и к появлению погрешности измерения разности фаз. Эту погрешность можно уменьшить, если измерять два интервала времени, которые формируются по передним и задним фронтам за один период напряжений U_1' и U_2' . Из временных диаграмм рис. 6, б видно, что увеличение импульса 1 на Δt компенсируется уменьшением длительности импульса 2 на ту же величину Δt .

Измеряя сумму двух интервалов времени $t = t_1 + t_2$, можно значительно уменьшить погрешность измерения, связанную с не идеальностью формирователей Ф1 и Ф2. Для этого Вход 2 блока счетчиков БС подключают к выходу схемы исключающее ИЛИ, а управляющий вход 3 - к формирователю Ф2. Импульсы “Запись” и “Сброс” в блоке счетчиков будут формироваться по заднему фронту импульсов напряжения U_2' (после второго импульса). Для схемы фазометра, приведенной на рис. 6,а, разность фаз вычисляется по формуле

$$\varphi_x = N \pi f_x / f_0.$$

Принципиальная схема фазометра приведена в приложении. Формирователи Ф1 и Ф2 собраны на микросхемах DA1 и DA2 (К554СА3), а схема исключающее ИЛИ - на микросхеме К561ЛП2 (DD1.1). Для создания напряжения U_2 использована RC - цепь интегрирующего типа, обеспечивающая отставание по фазе выходного напряжения на угол $\varphi = - \arctg 2\pi f_x R_1 C_1$.

4.8. Время-импульсные вольтметры. В этих вольтметрах измеряемое напряжение U_x предварительно преобразуется во временной интервал t_x путем сравнения U_x с линейно - изменяющимся напряжением U_k .

Структурная схема вольтметра изображена на рис. 7, а. Генератор линейно - изменяющегося напряжения ГЛИН состоит из генератора импульсов и интегратора, выполненного на основе операционного усилителя ОУ. Так как коэффициент усиления ОУ велик, то при работе в линейном режиме разность потенциалов между его входами стремиться к нулю. Не инвертирующий вход соединен с общей шиной, следовательно, потенциал инвертирующего входа близок к потенциалу общей шины. Входной ток $i_R = U_{вх} / R$. Этот ток при высоком входном сопротивлении ОУ полностью протекает через конденсатор С. Напряжение на конденсаторе U_c и выходное напряжение усилителя изменяются по закону

$$U_{ввых}(t) = \frac{1}{RC} \int_0^t U_{вх} dt.$$

Таким образом, если ОУ близок к идеальному, то данная схема обеспечивает прецизионное интегрирование входного сигнала.

Для сброса интегратора в ноль параллельно конденсатору C включен электронный ключ, выполненный на полевом транзисторе КП103Л с управляющим р-п-переходом.

В момент t_1 на выходе генератора появляется импульс положительной полярности длительностью $t_{и}$ и амплитудой равной приблизительно напряжению питания $+E$. Исток транзистора VT подключен к инвертирующему входу ОУ, потенциал которого близок к потенциалу общего провода, поэтому на затвор подано положительное напряжение превышающее напряжение отсечки и транзистор закрыт. Конденсатор C начинает заряжаться через резистор R и на выходе операционного усилителя появляется отрицательное линейно-изменяющееся напряжение

$$U_K = - E t / RC.$$

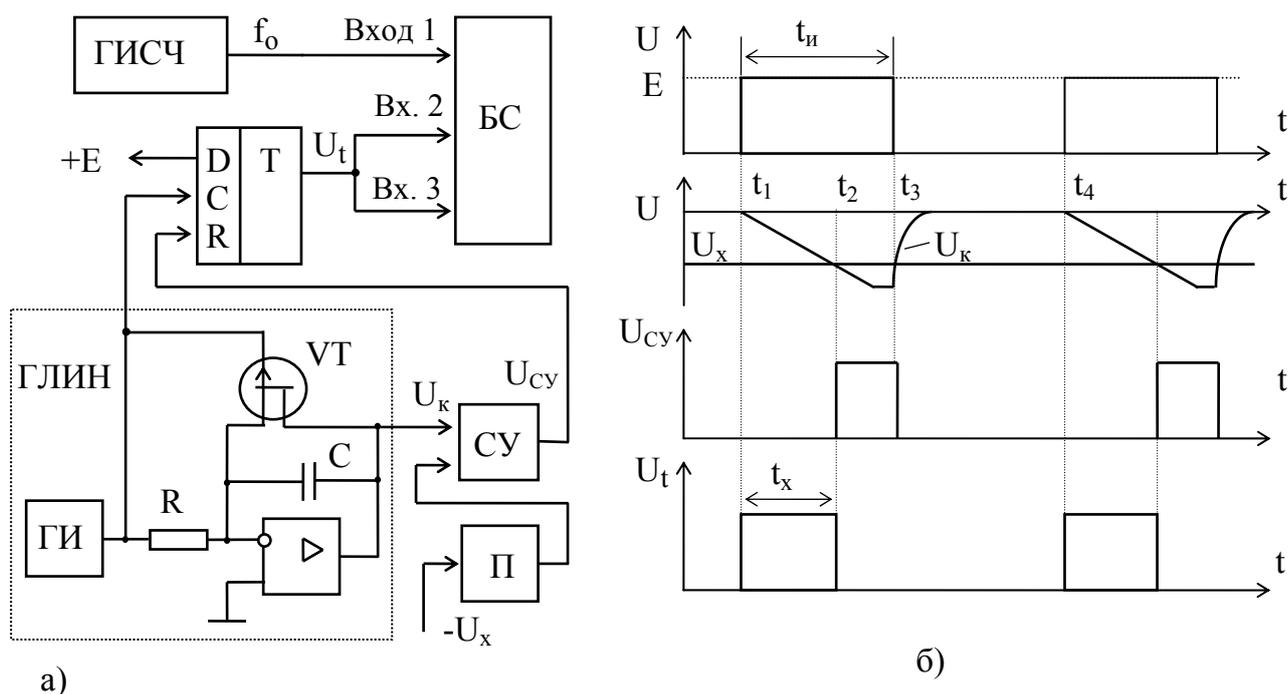


Рис. 7. Структурная схема время-импульсного вольтметра (а) и временные диаграммы (б), поясняющие его работу

Выходное напряжение интегратора U_K подается на инвертирующий вход сравнивающего устройства $СУ$, а измеряемое напряжение U_X отрицательной полярности - на не инвертирующий вход. При $|U_K| < |U_X|$ на выходе сравнивающего устройства логический ноль.

В момент t_2 $|U_K| = |U_X|$ и сравнивающее устройство переходит в единичное состояние (положительное напряжение).

В момент t_3 (момент окончания импульса $t_{и}$) транзистор VT открывается и начинается разряд конденсатора C . Длительность разряда конденсатора C зависит от его емкости и внутреннего сопротивления открытого транзистора. На выходе сравнивающего устройства логический ноль.

В момент t_4 на выходе генератора $ГИ$ появляется импульс положительной полярности длительностью $t_{и}$ и процесс повторяется.

Временной интервал t_x , пропорциональный измеряемому напряжению U_x , образуется на выходе D – триггера, вход С которого подключен к генератору. Положительным фронтом импульса t_i триггер переводится в единичное состояние, так как на D -вход триггера подана логическая единица (напряжение питания). Триггер возвращается в исходное состояние положительным импульсом выходного напряжения U_{cy} сравнивающего устройства (временные диаграмма на рис. 6, б).

Выходной сигнал триггера U_t подается на входы 2 и 3 измерителя временного интервала, образованного из блока счетчиков БС и генератора ГИСЧ. За время $t_x = t_2 - t_1$ на вход счетчика пройдет число импульсов $N = t_x / T_0$. Измеряемое напряжение

$$U_x = t_x k = NT_0 k,$$

где k - коэффициент характеризующий скорость нарастания U_k .

Кроме погрешности квантования и нестабильности f_0 в этих вольтметрах присутствует погрешность от наличия порога срабатывания сравнивающего устройства и погрешность от нелинейности и нестабильности U_k . Эти вольтметры чувствительны к помехам.

Генератор импульсов ГИ собран на логических элементах 2И-НЕ (DD4) и счетчике импульсов (DD7). На операционном усилителе DA4 выполнен интегратор, а на - DA3 повторитель напряжения, предназначенный для увеличения входного сопротивления вольтметра. В качестве сравнивающего устройства использован компаратор К554СА3 (микросхема DA5). Триггер выполнен на микросхеме К561ТМ2 (DD2.1).

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие приборы называют цифровыми ?
2. Назовите основные характеристики цифровых измерительных приборов.
3. Какие коды используются в цифровых измерительных устройствах ?
4. На чем основан метод последовательного счета ?
5. Назовите составляющие основной погрешности цифровых измерительных приборов.
6. Чему равна погрешность квантования временного интервала ?
7. В чем заключается принцип действия цифрового устройства измерения временного интервала ?
8. Назовите основные узлы цифровых измерительных устройств.
9. Как преобразовать последовательный единичный код в двоичный ?
10. Каково назначение двоично - десятичных счетчиков импульсов ?
11. Сколько импульсов можно записать в два последовательно соединенных десятичных счетчика ?
12. На чем основан принцип действия цифрового частотомера ?
13. Как повысить точность измерения низкой частоты ?
14. Из каких узлов состоит структурная схема цифрового периодомера ?
15. Как увеличить верхний предел измерения периодомера ?
16. Как определить быстродействие (время измерения) частотомера и периодомера ?
17. На чем основан принцип действия цифрового фазометра ?

18. Как уменьшить инструментальную погрешность цифрового устройства измерения разности фаз ?
19. В чем заключается принцип действия время-импульсного вольтметра ?
20. Из каких узлов состоит структурная схема время-импульсного вольтметра ?
21. Как устроен генератор линейно-изменяющегося напряжения ?
22. В каких узлах цифровых измерительных устройств применяют компараторы напряжения ?

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Схемы цифровых измерительных устройств расположены на макете. Перечень элементов со схемой электрической принципиальной и расположением их на плате макета находятся в приложении. Схема макета состоит из четырех блоков. В правой части макета расположен блок счетчиков БС, выполненный на микросхемах DD8 - DD16 и четырехразрядном жидкокристаллическом индикаторе. Снизу макета расположены три входа блока счетчиков. Устройства для измерения частоты, периода и фазы переменного напряжения объединены в один блок (микросхемы DA1, DA2, DD1, DD2 и DD3). Время - импульсный вольтметр выполнен на микросхемах DA3 - DA5 и DD2. На микросхемах DD4 - DD7 собраны генераторы прямоугольных импульсов. В центре макета расположены выходы цифровых измерительных устройств и блока генераторов.

Выводы 7 микросхем DD1, DD2, DD4, DD7, DD16 и выводы 8 микросхем DD3, DD5, DD6, DD8 – DD15 соединены с общим проводом. Выводы 14 микросхем DD1, DD2, DD4, DD7, DD16 и выводы 16 микросхем DD3, DD5, DD6, DD8 – DD15 соединены с +12 В.

Питание цифровых микросхем и операционных усилителей осуществляется от источника напряжения “Сура”. В качестве источника сигнала используются генератор сигналов низкочастотный ГЗ-109 и генератор импульсов Г5-54. Кроме того, в лабораторной работе используется электронно-лучевой осциллограф С1-55, частотомер ЧЗ-34 и цифровой универсальный вольтметр В7-35.

5. ПРОГРАММА РАБОТЫ

5.1. Изучить структурную и принципиальную схемы измерителя интервала времени. Измерить длительность различных импульсов, оценить погрешность измерения.

5.2. Изучить метод последовательного счета на основе электронно-счетного частотомера. Определить основные характеристики частотомера.

5.3. Измерить низкую частоту (50 - 200 Гц) частотомером и периодометром. Определить и сравнить погрешности измерений.

5.4. Изучить структурные и принципиальные схемы измерителей разности фаз переменных напряжений. Измерить разность фаз, создаваемую RC - цепью. Обработать результаты измерений. Сравнить полученные результаты с расчетными. Определить погрешность измерения.

5.5. Изучить принцип действия время-импульсного вольтметра. Определить основные характеристики вольтметра, собранного на макете.

5.6. Оформить отчет по проделанной работе.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

6.1. Включить источник питания “Сура” и установить на его выходе напряжения + 12 В и - 12 В. Напряжения измерять цифровым прибором В7-35.

Измерить частоту выходного напряжения генератора ГИСЧ, подключив к выходу макета $T_0 = 10$ мкс ($10 \mu\text{S}$) цифровой частотомер. Определить погрешность δ_0 установки частоты f_0 .

$$\delta_0 = \frac{f_{\text{изм}} - 10^5}{10^5} 100\%,$$

где $f_{\text{изм}}$ - показания частотомера.

Провести подстройку частоты резистором R11, если $\delta_0 > 0,02\%$. Через 5 минут повторить измерения и определить нестабильность частоты.

Измерить длительности выходных импульсов генератора ГИВ на выходе $t_{\text{ин}} = 0,1$ с ($0,1$ S) макета. Измерения проводить частотомером ЧЗ-34 в режиме измерения длительности импульса, одновременно наблюдая выходной сигнал осциллографом С1-55.

Определить погрешность δ_0 установки длительности импульса $t_{\text{ин}}$

$$\delta_0 = \frac{\tau_{\text{изм}} - 0,1}{0,1} 100\%,$$

где $\tau_{\text{изм}}$ - показания частотомера. Провести подстройку длительности импульса резистором R13, если $\delta_0 > 0,02\%$

6.2. Измерение длительности импульсов.

Схема ЦИУ длительности импульсов изображена на рис. 3.

Рассчитать верхние пределы измерения $\tau_{\text{пр}} = N_{\text{max}} / f_0$ при опорной частоте $f_0 = 1$ МГц и 100 кГц. В блоке счетчиков 4 десятичных разряда, поэтому $N_{\text{max}} = 9999$.

Подать с генератора Г5-54 на Входы 2 и 3 блока счетчиков БС импульсы положительной полярности амплитудой 12 В, длительностью 1 мс и частотой повторения 200 Гц. Вход 1 блока счетчиков подключить к одному из выходов генератора ГИСЧ (выходы 1 μS и 10 μS макета). Снять показания с цифрового индикатора и рассчитать длительность измеряемого импульса. Определить погрешность измерения $\delta = \pm (\delta_{\text{д}} + \delta_0)$.

Измерить длительность импульсов на контрольной точке КТ2 осциллографом С1-55 и ЦИУ длительности импульса. Для этого вход Y1 осциллографа и Входы 2 и 3 блока счетчиков подключить к контрольной точке КТ2 макета. Вход 1 блока счетчиков подключить к выходу 10 μS макета.

Снять временные диаграммы напряжений на КТ2 и на выходах 1, 2, 4, 8 счетчика импульсов DD11 (контакты 14, 13, 12, 11), подключая Вход Y2 осциллографа по очереди к выходам счетчика. Сравнить выходной код счетчика с показанием старшего разряда цифрового индикатора.

6.3. Собрать схему частотомера, изображенную на рис. 4: соединить Вход 1 блока счетчиков с выходом формирователя Ф (выход f макета); подать на Входы 2 и 3 импульс напряжения $t_{\text{ин}}$ длительностью 0,1 или 1 секунду (выходы 0,1 с или 1 с);

соединить не инвертирующий вход компаратора DA1 (вход $U_{оп}$ макета) с общим проводом.

Рассчитать верхние пределы измерения частоты $f_{пр} = N_{max} / t_{ин}$ для $t_{ин} = 0,1$ с и $t_{ин} = 1$ с.

С генератора ГЗ-109 подать на вход U1 формирователя переменное напряжение амплитудой 1 В и частотой, не превышающей верхний предел измерений. Снять показания с цифрового индикатора. Определить частоту входного напряжения f_x и погрешность измерения частоты. Измерить частоту входного напряжения прибором ЧЗ-34, сравнить показания. Снять осциллограммы напряжений на входе U1 и выходе (выход f макета) формирователя DA1.

Исследовать поведение схемы частотомера, если f_x превышает верхний предел измерения, объяснить полученные результаты.

6.4. С генератора ГЗ-109 подать на вход U1 формирователя переменное напряжение амплитудой 1 В и частотой 50 - 200 Гц. Снять показания с цифрового индикатора. Определить частоту входного напряжения f_x и погрешность измерения частоты при $t_{ин} = 1$ с.

Собрать схему периодомера, изображенную на рис. 5: соединить Вход 1 блока счетчиков БС с одним из выходов генератора ГИСЧ ($T_0 = 1$ мкс или $T_0 = 10$ мкс); Входы 2 и 3 блока счетчиков соединить с выходом Т макета (прямой выход триггера DD2.2). Рассчитать верхний предел измерения периода $T_{пр} = N_{max} T_0$ на обоих поддиапазонах.

С генератора ГЗ-109 подать на вход U1 формирователя переменное напряжение низкой частоты амплитудой 1 В. В зависимости от измеряемого периода T_x установить нужный поддиапазон и определить период, сняв показания с цифрового индикатора. Рассчитать частоту входного напряжения f_x и погрешность измерения частоты.

Снять осциллограммы напряжений периодомера: на входе и выходе формирователя (DA1); на выходе триггера (выход Т макета).

6.5. Собрать схему ЦИУ разности фаз (рис. 6, а): соединить Вход 1 блока счетчиков БС с выходом $T_0 = 1$ мкс генератора ГИСЧ; Вход 2 блока счетчиков соединить с выходом φ_1 (выход схемы исключаящее ИЛИ DD1.1), а Вход 3 - с выходом φ_2 (выход формирователя DA2).

С генератора ГЗ-109 подать на вход U1 формирователя переменное напряжение амплитудой 1 В и частотой 1 - 2 кГц. Рассчитать угол фазового сдвига φ , создаваемый цепью $R_1 C_1$ ($R_1 = 12$ кОм $\pm 0,2$ %; $C_1 = 0,01$ мкФ $\pm 0,2$ %). Частоту f_x измерять цифровым частотомером ЧЗ-34. Снять показания с цифрового индикатора и определить угол фазового сдвига φ_x по формуле, приведенной в пункте 2.7.

Для повышения стабильности показаний разность фаз измеряют за n периодов. Соединить Вход 3 блока счетчиков БС с выходом $n = 10$ макета. При той же частоте входного сигнала определите новое значение N , найдите среднее значение $N_{ср}$ за 10 периодов и определить $\varphi_{x ср.} = N_{ср} \pi f_x / f_0$. Сравнить полученные результаты φ_x и $\varphi_{x ср.}$ с расчетными (φ).

Снять осциллограммы выходных напряжений ЦИУ разности фаз. Для этого подключить Вход Y1 осциллографа С1-55 ко входу U1, а Вход Y2 – по очереди к

выходу формирователя DA1 (выход f макета), ко входу и выходу (выход φ_2 макета) формирователя DA2, к выходу схемы исключаящее ИЛИ (выход φ_1).

Снять осциллограммы выходных напряжений формирователя импульсов “Запись” для случая, когда Вход 3 блока счетчиков соединен с выходом φ_2 .

6.6. Установить на входе время-импульсного вольтметра (Рис. 7) напряжение $U_x = -3$ В (переменным резистором R4). Снять осциллограммы напряжений время-импульсного вольтметра: на выходе генератора импульсов (контрольная точка КТ2); на выходе интегратора, собранного на операционном усилителе DA4 (контрольная точка КТ3); на выходе повторителя напряжения (DA3); на выходе сравнивающего устройства DA5 (контрольная точка КТ4); на выходе t_x макета. Для этого подключить Вход Y1 осциллографа С1-55 к контрольной точке КТ2, а Вход Y2 - по очереди к выходам вольтметра.

Подключить время-импульсный вольтметр к блоку счетчиков: соединить Вход 1 блока счетчиков БС с выходом $T_0 = 1$ мкс генератора ГИСЧ; Входы 2 и 3 блока счетчиков соединить с выходом t_x . Отключить осциллограф от макета.

Резистором R4 установить на входе время-импульсного вольтметра напряжение $U_x = -5$ В. Откалибровать вольтметр, установив переменным резистором R7 показания цифрового индикатора 5000 (последняя цифра может меняться на несколько единиц).

Снять показания время-импульсного вольтметра при изменении напряжение U_x от 0 до -10В. Входное напряжения измерять цифровым прибором В7-35. Определить линейность шкалы, относительную погрешность и быстродействие время-импульсного вольтметра.

Определить как меняются характеристики вольтметра, если на Вход 1 блока счетчиков БС поданы импульсы с периодом $T_0 = 10$ мкс.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

7.1. Название и цель работы.

7.2. Структурная схема блока генераторов прямоугольных импульсов. Экспериментально измеренные параметры выходных сигналов. Относительные погрешности установки частоты и интервала времени.

7.3. Структурные схемы цифровых измерительных устройств и временные диаграммы, поясняющие их работу.

7.4. Экспериментальные данные исследования цифровых измерительных устройств.

7.5. Основные характеристики частотомера, периодомера, время-импульсного вольтметра, фазометра.

7.6. Анализ полученных результатов, основные выводы по работе.

Перечень элементов макета “Цифровые измерительные устройства”

Поз. обозн.	Наименование	Колич.	Примечание
Конденсаторы			
C1	K71-7B - 250B - 0,01 мкФ ± 0,5%	1	
C2,C3	KM -5Б - Н90 - 0,15 мкФ	2	
C4	K74-16B - 63B - 0,033 мкФ ± 5%	1	
C5	KM -5Б - Н90 - 0,15 мкФ	1	
C6	K10-48 - M47 - 22 пФ ± 5%	1	
C7	KM-5Б - M1500 - 5600 пФ ± 5%	1	
C8, C9	KM-5Б - M1500 - 4700 пФ ± 10%	2	
Микросхемы			
DA1,DA2	K554CA3	2	
DA3,DA4	K140УД608	2	
DA5	K554CA3	1	
DD1	K561ЛП2	1	
DD2	K176ТМ2	1	
DD3	K561ИЕ8	1	
DD4	K561ЛА7	1	
DD5,DD6	K561ИЕ8	2	
DD7	K176ИЕ1	1	
DD8-DD11	K561ИЕ2	2	
DD12-DD15	K561ИД2	2	
DD16	K561ЛЕ5	1	
HG1	Индикатор ИЖЦ5-4/8	1	
Резисторы			
R1	МЛТ - 0,25 - 12 кОм ± 5%	1	
R2, R3	МЛТ - 0,25 - 4,3 кОм ± 5%	2	
R4	СП2-2 - 0,5 - 2,2 кОм	1	
R5	МЛТ - 0,25 - 220 Ом ± 5%	1	
R6	МЛТ - 0,25 - 1,2 кОм ± 5%	1	
R7	СП2-2 - 0,5 - 2,2 кОм	1	
R8	МЛТ - 0,25 - 36 кОм ± 5%	1	
R9	МЛТ - 0,25 - 4,3 кОм ± 5%	1	
R10	МЛТ - 0,25 - 1,2 кОм ± 5%	1	
R11	СП2-2 - 0,5 - 470 Ом	1	
R12	МЛТ - 0,25 - 15 кОм ± 5%	1	
R13	СП2-2 - 0,5 - 33 кОм	1	
R14	МЛТ - 0,25 - 330 кОм ± 5%	1	
VT1	Транзистор КП103М	1	

Схема электрическая принципиальная макета «Цифровые измерительные устройства»

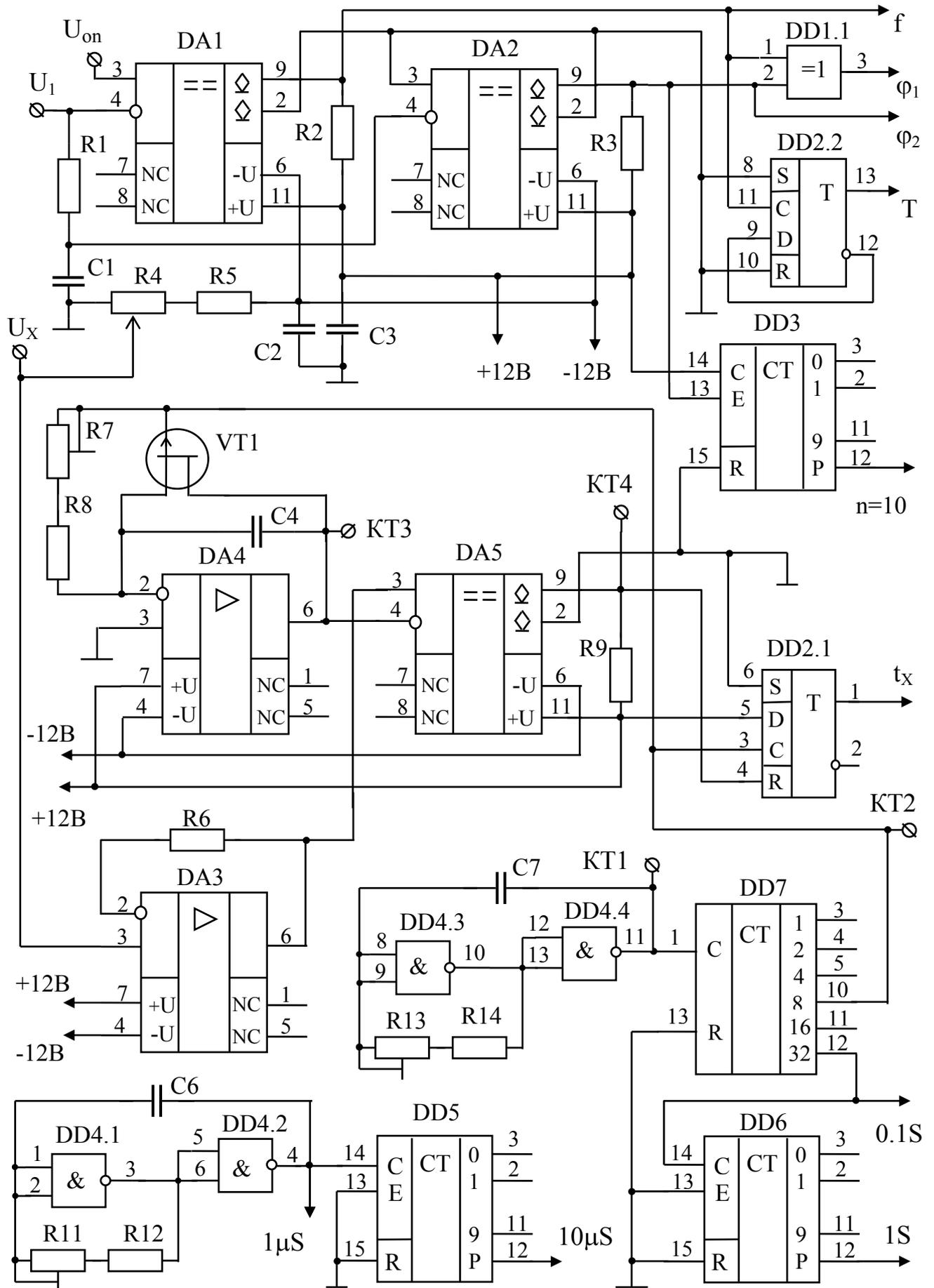


Схема электрическая принципиальная блока счетчиков

