

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» (ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

## **Цифровые устройства в системах измерения и управления**

Методические указания  
к выполнению курсовой работы

Казань 2025

Содержимое документа охраняется законом об авторском праве. Несанкционированное копирование и использование данного документа запрещается.

УДК 621.317  
ББК 37.221  
Ц 75

Ц 75      Цифровые устройства в системах измерения и управления.  
Методические указания к выполнению курсовой работы.  
Каминский С.С. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2025. 35 с.

Приведены методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Цифровые устройства в системах измерения и управления», краткие теоретические сведения, содержание контрольных заданий.

Пособие предназначено для студентов профиля «Цифровые системы автоматизации в электроэнергетике» направления подготовки бакалавров 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

УДК 621.317  
ББК 37.221

© Каминский С.С., 2025  
© Казанский государственный  
энергетический университет, 2025

## **ВВЕДЕНИЕ**

В соответствии с учебным планом профиля «Цифровые системы автоматизации в электроэнергетике» направления подготовки бакалавров 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» дисциплина «Цифровые устройства в системах измерения и управления» изучается студентами в 7 и 8 семестрах.

Целью дисциплины является изучение принципов цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразования различных величин, устройства и принципов работы различных цифровых измерительных приборов, погрешностей измерений и способов их уменьшения; приобретение навыков теоретического анализа и практического использования метрологических характеристик цифровых измерительных устройств; ознакомление с проектированием цифровых измерительных устройств на современной элементной базе.

В соответствии с рабочей программой дисциплины «Цифровые устройства в системах измерения и управления» студенты должны изучить теоретический лекционный материал, выполнить лабораторные работы, изучить методы решения задач практических занятий. Итогом освоения дисциплины является выполнение курсовой работы (КР) в 8 семестре. Знания и умения, приобретаемые при выполнении КР необходимы также для последующего успешного выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР).

Необходимые для выполнения КР теоретические сведения и методы решения задач приводятся в соответствующих разделах лекционных, практических и лабораторных занятий.

Предлагаемые в пособии задания охватывают основной материал курса.

## **ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

Работа студентов над курсовым проектом по дисциплине «Цифровые устройства в системах измерения и управления» предполагает самостоятельное освоение материала и решение типовых задач с последующей проверкой в ходе консультаций по курсовой работе. При этом посещение лекционных и практических занятий и выполнение лабораторных

работ является необходимым условием успешного выполнения курсовой работы. Даже при всем желании преподавателя, консультации по курсовой работе не сможет заменить системного изучения материала, осуществляемого на лекционных, практических и лабораторных занятиях.

При изучении курса «Цифровые устройства в системах измерения и управления» студентам следует вести конспект, в который заносятся основные термины, свойства рассматриваемых объектов и процессов, расчетные соотношения и выводы.

Курсовая работа включает в себя типовые задачи и теоретические вопросы. Курсовая работа должна выполняться самостоятельно. К сдаче экзамена допускаются студенты, имеющие зачетные курсовые работы и выполнившие все лабораторные работы.

В случае возникновения затруднений при выполнении курсовой работы следует обращаться за консультацией к преподавателю на кафедре теоретических основ электротехники КГЭУ. При этом необходимо точно сформулировать вопрос, вызывающий затруднение.

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

### Цифровой частотомер

Принцип действия частотомера основан на подсчете числа импульсов  $N$ , соответствующего числу периодов измеряемой частоты  $f_x$ , за известный высокоточный интервал времени  $T_{и}$ . Цифровой частотомер (рис. 1) содержит формирователь импульсов  $\Phi$ , генератор импульсов стабильной частоты  $\Gamma$ , делитель частоты ДЧ, электронный ключ  $K$ , счетчик импульсов  $Cч$ , цифровое отсчетное устройство ЦОУ.

Формирователь преобразует периодические сигналы частоты  $f_x$  в последовательность прямоугольных импульсов постоянной амплитуды с большой крутизной фронтов, которая не зависит от амплитуды входного сигнала. Период повторения таких импульсов равен  $T_x = \frac{1}{f_x}$ . Время измерения  $T_{и}$  задается генератором тактовых импульсов с периодом повторения  $T_0$  и делителем частоты с коэффициентом деления  $k_d$ :

$$T_{и} = k_d T_0.$$

Значение частоты  $f_0$  обычно выбирают равным  $10^n$  Гц, где  $n$  – целое число, обычно равное 5, 6, 7, например,  $f_0 = 1$  МГц.

Делитель частоты делит частоту генератора декадными значениями: 100, 10, 1 кГц, 100, 10, 1, 0,1, 0,01 Гц. Эти частоты используются для получения интервалов времени счета  $T_{и}$ , равных соответственно  $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$ , ..., 100 с. Делитель частоты обычно содержит последовательно соединенные делители частоты на 10. Коэффициент деления определяется числом последовательно включенных делителей и может переключаться, что позволяет оператору вручную устанавливать требуемое время измерения.

Импульсы с выхода делителя частоты открывают ключ на время  $T_{и}$ . Через открытый ключ квантующие импульсы с периодом  $T_x$  поступают на счетчик, который подсчитывает число импульсов  $N_x$ . Электронный счетчик содержит последовательно включенные цифровые десятичные счетчики, называемые также счетными декадами, поскольку каждый счетчик соответствует определенному порядку частоты (единицам, десяткам, сотням герц и т.д.).

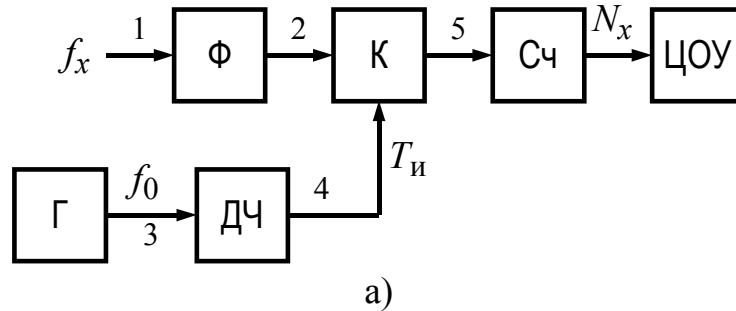


Рис. 1. Цифровой частотомер: а) структурная схема; б) временные диаграммы

Результат измерения высвечивается на индикаторах ЦОУ. Процессом измерения обычно управляет устройство управления (на схеме не показано), которое обеспечивает: сброс счетчика и других схем в нулевое состояние перед каждым измерением; формирование интервала времени измерения  $T_{и}$ ; формирование времени индикации результатов измерения на ЦОУ, регулируемое в пределах 0,3 – 5 с.

Число импульсов, подсчитанных счетчиком, равно

$$N_x = \frac{T_{и}}{T_x} = T_{и} f_x.$$

Результат измерения может быть представлен в виде  $f_x = \frac{1}{T_{и}} N = qN$ ,

где  $q = \frac{1}{T_{и}}$  – шаг квантования по частоте.

Если выбрать  $T_{и} = 1$  с, то  $N$  численно равно значению  $f_x$ , поскольку частота определяется как число периодов за одну секунду.

Если за время измерения частота входного сигнала изменяется, то показания частотомера определяются средним значением измеряемой

частоты  $f_x$  за время  $T_{и}$ :  $N = \int_0^{T_{и}} f_x(t) dt = T_{и} \cdot \frac{1}{T_{и}} \int_0^{T_{и}} f_x(t) dt = T_{и} f_{ср}$ ,

где  $f_x(t)$  – мгновенное значение частоты.

Составляющими погрешности измерения частоты являются:

1) погрешность времени измерения  $T_{и}$ ; 2) погрешность дискретности.

Погрешность времени измерения определяется нестабильностью генератора импульсов  $\delta_0 = \Delta f_0 / f_0$ . Для повышения стабильности образцовой частоты генератора  $f_0$  в качестве времязадающего элемента

используют высоко стабильный кварцевый резонатор. Это позволяет снизить погрешность  $\delta_0$  до  $10^{-6}$ – $10^{-9}$  в относительных единицах, т.е. до  $10^{-4}$ – $10^{-7}\%$ .

Погрешность дискретности, называемая также погрешностью квантования временного интервала  $T_{и}$ , определяется максимальной абсолютной погрешностью счета  $\Delta N$ . На рис. 2а показано наихудшее расположение счетных импульсов с периодами  $T_x$  и импульса  $T_{и}$ . Как видно из рис. 2б, малейшие изменения длительности могут давать три разных показания  $N_x = 2, 3, 4$ , в то время как действительное значение  $N_x$  равно трем. Отсюда следует, что абсолютная погрешность счета не превышает  $\Delta N = \pm 1$ . Относительная погрешность дискретности, выраженная в процентах, равна

$$\delta_k = \frac{\Delta N}{N_x} 100 = \pm \frac{1}{N_x} 100 = \pm \frac{1}{T_{и} f_x} 100.$$

Максимальная суммарная относительная погрешность частотомера

$$\delta = \frac{\Delta f_x}{f_x} 100 = \pm \left( \frac{1}{N_x} + \delta_0 \right) 100 = \pm \left( \frac{1}{f_x T_{и}} + \delta_0 \right) 100.$$

Из этой формулы видно, что на высоких частотах, когда  $\frac{1}{f_x T_{и}}$  мало, погрешность определяется нестабильностью генератора тактовых импульсов, а на низких частотах – погрешностью дискретности.

**Пример.** Измеряется частота  $f_x = 10$  МГц. Частота генератора тактовых импульсов  $f_0 = 1$  МГц, погрешность частоты тактовых импульсов  $\delta_0$  составляет  $10^{-7}$ , т.е.  $10^{-5}\%$ , коэффициент деления частоты  $k_d = 10^6$ .

Погрешность измерения низких частот можно уменьшить, увеличив  $T_{и}$ . Если установить время  $T_{и} = 10$  с, то для частоты  $f_x = 50$  Гц число импульсов составит  $N_x = 500$ , а погрешность уменьшится в 10 раз:  $\delta = \pm 0,2\%$ . На индикаторе высветится «00 000 50.0 Hz» либо «00 00.0 500 kHz».

Таким образом, переключение  $T_{и}$  сопровождается перемещением десятичной точки на ЦОУ.

## Измерение периода

Измерение периода  $T_x$  основано на подсчете числа квантующих импульсов длительностью  $T_0$  в течение одного или нескольких периодов  $T_x$ . Структурная схема периодомера показана на рис. 3а.

На выходе делителя частоты получают импульсы длительностью  $T_{\text{и}} = k_{\text{д}} T_x$ . Коэффициент деления  $k_{\text{д}}$  выбирается равным 10 или 100. Передний фронт импульса  $T_{\text{и}}$  открывает, а задний фронт закрывает ключ К. Через открытый ключ в течение времени  $T_{\text{и}}$  на счетчик поступают квантующие импульсы с периодом  $T_0$ . За время одного измерения будет подсчитано  $N_x = \frac{k_{\text{д}} T_x}{T_0}$  импульсов.

Результат измерения может быть представлен в виде  $T_x = \frac{T_0}{k_{\text{д}}} N_x = q N_x$ ,

где шаг квантования по периоду  $q = \frac{T_0}{k_{\text{д}}}$ .

Составляющими погрешности измерения периода являются: 1) погрешность дискретности  $\delta_{\text{к}}$ ; 2) погрешность  $\delta_0$  частоты генератора квантующих импульсов, формирующего период  $T_0$ ; 3) погрешность передачи периода.

Погрешность квантования  $\delta_{\text{к}}$  временного интервала  $T_x$  равна

$$\delta_{\text{к}} = \frac{1}{N_x} 100 = \frac{100}{k_{\text{д}} \frac{T_x}{T_0}} = \frac{f_x 100}{k_{\text{д}} f_0}.$$

Эту погрешность можно уменьшить, увеличивая  $f_0$  либо  $k_{\text{д}}$  (т.е. увеличивая время измерения).

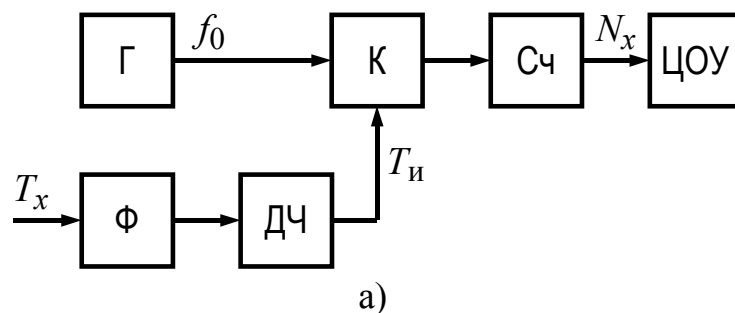


Рис. 3. Цифровой периодомер:  
а) структурная схема; б) временные диаграммы

Погрешность передачи периода определяется неточностью преобразования периода  $T_x$  в измеряемый интервал времени  $T_{\text{и}}$  и зависит от скорости дрейфа нуля формирователя импульсов и наличия шума во входном сигнале.

С уменьшением  $T_x$  погрешность  $\delta_k$  увеличивается. Нижний предел измерения  $T_x$  ограничивается допустимой погрешностью квантования и максимальной скоростью счетчика, которая ограничивает  $T_0$ :

$$T_x > T_{x \text{ min}} = \frac{100T_0}{k_{\text{д}} \delta_{\text{к.доп}}}.$$

**Пример.** Если период  $T_0 = 10^{-6}$  с,  $k_{\text{д}} = 1$ ,  $\delta_{\text{к.доп}} = 0,01\%$ , то  $T_{x \text{ min}} = 0,01$  с. Следовательно, значение измеряемой частоты должно быть ниже 100 Гц.

### Измерение интервала времени

Схема измерителя интервала времени (рис. 4) отличается от схемы измерителя периода наличием не одного, а двух формирователей интервала времени измерения.

Импульсы, интервал времени между которыми требуется измерить, подаются на формирователи  $\Phi 1$  и  $\Phi 2$ . Сигнал с выхода формирователя  $\Phi 1$  открывает ключ  $K$ , а сигнал с формирователя  $\Phi 2$  закрывает его. В течение интервала времени  $T_{\text{и}}$  на счетчик  $Cч$  поступают счетные импульсы с периодом  $T_0$ . Обычно с помощью переключателей можно выбирать фронт и спад импульсов, открывающих и закрывающих ключ.

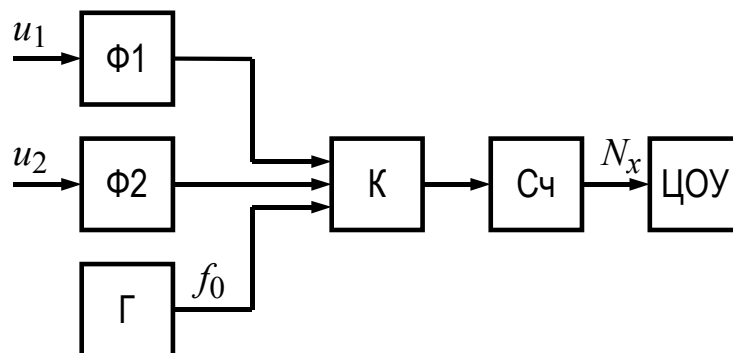


Рис. 4. Структурная схема измерителя интервала времени

Составляющими погрешность измерения интервала времени являются:

- 1) погрешность дискретности;
- 2) погрешность интервала времени  $T_0$ ;

Содержимое документа охраняется законом об авторском праве. Несанкционированное копирование и использование данного документа запрещается.

3) погрешность преобразования интервала времени в длительность  $T_{и}$ . Последняя составляющая определяется нестабильностью порогов срабатывания формирователей, формой входного сигнала, наличием шума во входном сигнале и неидентичностью формирователей, имеющих разные значения задержки. Погрешность за счет неидентичности формирователей можно уменьшить, если предварительно подать одновременно на оба входа тестовый сигнал и измерить разницу задержек. Далее можно либо уменьшить ее с помощью специальной регулировки, либо внести поправку в результат измерения. Эти корректировки могут выполняться автоматически в измерителях, содержащих микропроцессор.

### **Частотно-импульсный цифровой вольтметр постоянного тока**

Принцип действия частотно-импульсного цифрового вольтметра (ЦВ) основан на преобразовании измеряемого напряжения постоянного тока  $U_x$  в пропорциональную частоту  $f_x$ . Схема вольтметра (рис. 8) содержит преобразователь «напряжение-частота» (ПНЧ) и цифровой частотомер ЦЧ.

Постоянное измеряемое напряжение  $U_x$  поступает на вход интегратора, построенного на основе усилителя постоянного тока УПТ. Выходное напряжение интегратора  $u_{инт}(t)$  изменяется по линейному закону и поступает на вход устройства сравнения УС. На другой вход УС поступает стабильное пороговое напряжение  $U_0$ . В момент равенства  $u_{инт}(t)$  и  $U_0$  срабатывает устройство сравнения, и устройство управления УУ открывает на время  $t_{0,с}$  аналоговый ключ  $K_1$ . Через открытый ключ  $K_1$  на вход интегратора через  $R_2$  поступает импульс обратной связи с фиксированными амплитудой  $U_{0,с}$  и длительностью  $t_{0,с}$ , которые не зависят от  $U_x$ . Это приводит к снижению напряжения на выходе интегратора до некоторого напряжения  $U_2$ , после чего процесс циклически повторяется.

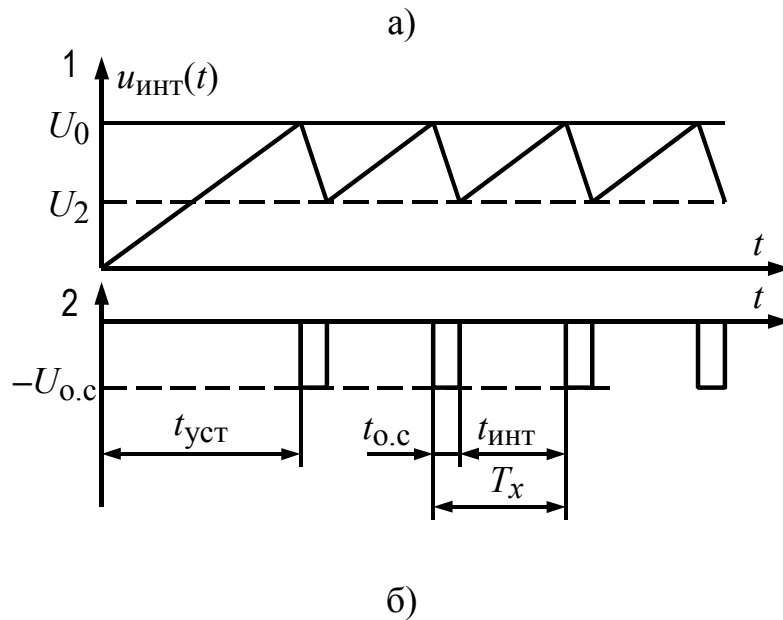
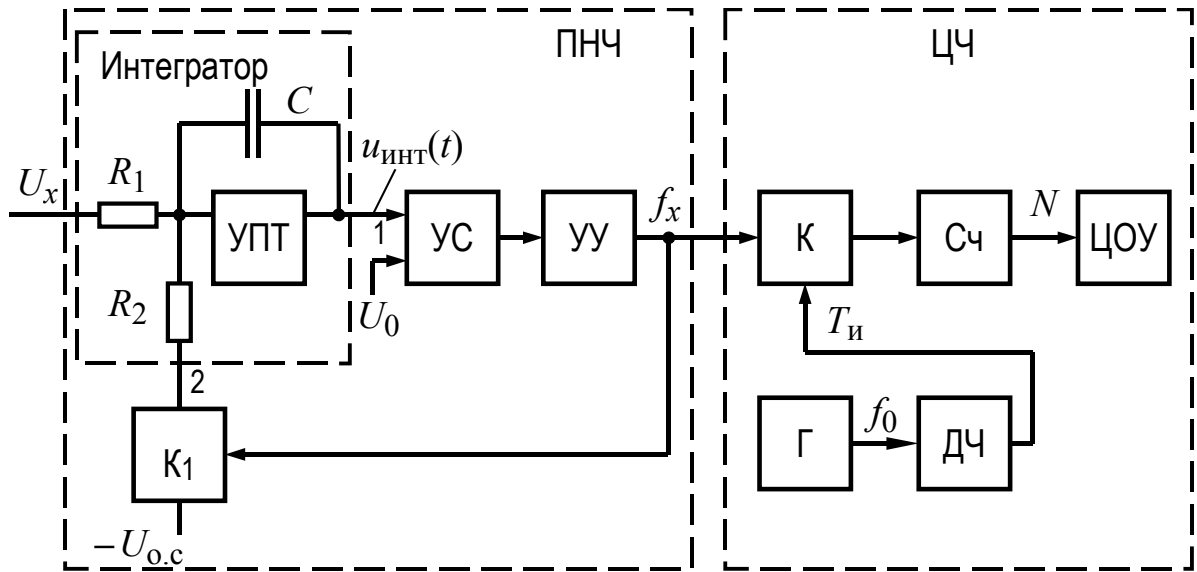


Рис. 8. Частотно-импульсный ЦВ постоянного тока:  
а) структурная схема вольтметра; б) временные диаграммы преобразователя «напряжение-частота»

Рассмотрим работу вольтметра в установившемся режиме. В течение времени  $t_{\text{инт}}$  под действием  $U_x$  происходит заряд конденсатора интегратора через  $R_1$ , в результате чего напряжение на выходе интегратора увеличивается по закону

$$u_{\text{инт}}(t) = U_2 + \frac{1}{R_1 C} \int_0^t U_x dt = U_2 + \frac{U_x}{R_1 C} t.$$

Через время  $t_{\text{инт}}$  напряжение интегратора достигает уровня  $U_0$ :

$$u_{\text{инт}}(t_{\text{инт}}) = U_2 + \frac{U_x t_{\text{инт}}}{R_1 C} = U_0. \quad (5)$$

Разряд конденсатора интегратора происходит под действием напряжения  $U_{0.c}$  через резистор  $R_2$  в течение фиксированного времени  $t_{0.c}$ , причем напряжение  $U_x$  по-прежнему приложено ко входу интегратора через резистор  $R_1$ . Напряжение интегратора в течение времени  $t_{0.c}$  уменьшается по закону

$$u_{\text{инт}}(t) = U_0 - \frac{1}{R_2 C} \int_0^t U_{0.c} dt + \frac{1}{R_1 C} \int_0^t U_x dt = U_0 - \frac{U_{0.c}}{R_2 C} t + \frac{U_x}{R_1 C} t.$$

По окончании импульса обратной связи напряжение интегратора равно некоторому напряжению  $U_2$ :

$$u_{\text{инт}}(t_{0.c}) = U_0 - \frac{U_{0.c} t_{0.c}}{R_2 C} + \frac{U_x t_{0.c}}{R_1 C} = U_2. \quad (6)$$

Выразив  $U_2$  из формулы (5) и подставив в (6), получим

$$U_0 - \frac{U_x t_{\text{инт}}}{R_1 C} = U_0 - \frac{U_{0.c} t_{0.c}}{R_2 C} + \frac{U_x t_{0.c}}{R_1 C},$$

откуда

$$\frac{U_x (t_{\text{инт}} + t_{0.c})}{R_1} = \frac{U_{0.c} t_{0.c}}{R_2}.$$

Учитывая, что суммарное время первого и второго интервалов равно периоду измеряемой частоты  $f_x$ , т.е.

$$T_x = t_{\text{инт}} + t_{0.c},$$

можно записать:  $T_x = \frac{U_{0.c} t_{0.c}}{R_2} \frac{R_1}{U_x}$ . Таким образом, частота на выходе ПНЧ равна

$$f_x = \frac{1}{T_x} = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{U_{0.c} t_{0.c}} U_x = k_{\text{ПНЧ}} U_x, \quad (7)$$

где  $k_{\text{ПНЧ}}$  – коэффициент преобразования напряжения в частоту, Гц/В:

$$k_{\text{ПНЧ}} = \frac{R_2}{R_1 U_{0.c} t_{0.c}}.$$

Из формулы (7) видно, что значение частоты  $f_x$  пропорционально измеряемому напряжению  $U_x$ , не зависит от значения емкости  $C$  и опорного напряжения  $U_0$ , определяется только соотношением  $R_2/R_1$  и стабильностью

площади  $U_{oc}t_{oc}$ . Частота  $f_x$  измеряется цифровым частотомером в течение времени измерения  $T_{и}$ , получаемого с использованием генератора частоты  $f_0$  и делителя частоты с коэффициентом деления  $k_d$ . Число подсчитанных импульсов

$$N = T_{и}f_x = T_{и}k_{пнч}U_x = \frac{k_d T_0}{U_{o.c}t_{o.c}} \frac{R_2}{R_1} U_x, \quad (8)$$

шаг квантования по напряжению

$$q = \frac{U_H}{N_H} = \frac{1}{T_{и}} \frac{R_1}{R_2} U_{o.c}t_{o.c}.$$

Частотно-импульсные ЦВ обладают сравнительно невысоким быстродействием, поскольку в них реализуется последовательный счет числа импульсов. Кроме того, при выполнении требования помехоустойчивости минимальное время измерения ЧИ ЦВ должно составлять один период частоты сетевой помехи 50 Гц:  $T_{и \min} = 20$  мс.

### Времяимпульсный ЦВ постоянного тока

В основе работы времяимпульсного ЦВ (рис. 9) лежит преобразование измеряемого напряжения  $U_x$  в пропорциональный интервал времени  $T_x$ . На один вход сравнивающего устройства СУ подается измеряемое напряжение, на другой – напряжение от генератора линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН):

$$u_{глин}(t) = kt,$$

где  $k$  – скорость изменения напряжения, В/с.

В момент равенства напряжений  $U_x$  и  $u_{глин}(t)$  срабатывает сравнивающее устройство, и счет числа импульсов частотой  $f_0$  прекращается. Число подсчитанных импульсов  $N_x$  высвечивается на ЦОУ. Таким образом, при  $t = T_x$  напряжение  $u_{глин}(T_x) = kT_x = U_x$ , следовательно,

$$N_x = \frac{T_x}{T_0} = \frac{U_x f_0}{k}.$$

Максимальное (номинальное) число  $N_H$  соответствует наибольшей длительности  $T_H$ , при максимальном (номинальном) измеряемом напряжении  $U_H$ . Эти величины связаны соотношениями

$$T_H = N_H T_0,$$

$$U_H = T_H k.$$

Величина шага квантования по напряжению  $q$ , обусловленная квантованием временного интервала, равна

$$q = \frac{U_H}{N_H} = \frac{T_H k}{N_H} = \frac{N_H T_0 k}{N_H} = T_0 k = \frac{k}{f_0}.$$

Кроме того, значение кванта можно найти по формуле

$$q = \frac{U_H}{T_H f_0}.$$

Если в качестве ГЛИН применить интегратор с сопротивлением  $R$  и емкостью  $C$ , на вход которого подается постоянное напряжение  $U_0$ , то скорость изменения напряжения будет равна  $k = \frac{U_0}{RC}$ .

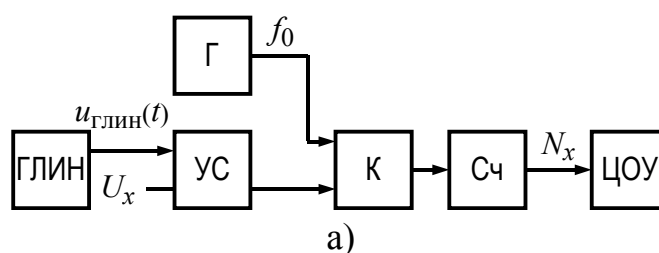


Рис. 9. Времяимпульсный вольтметр:  
а) структурная схема; б) временные диаграммы

Источниками погрешности являются: 1) погрешность дискретности, связанная с преобразованием непрерывной величины  $T_x$  в дискретную величину  $NT_0$ ; 2) временная и температурная нестабильность  $f_0$  и  $k$ ; 3) нелинейность  $u_{\text{ГЛИН}}(t)$  на рабочем участке, приводящая к нелинейности зависимости  $T_x(U_x)$ ; 4) конечная (не нулевая) зона неопределенности УС, в результате чего сигнал, закрывающий счетчик, появляется несколько раньше или позже момента равенства  $U_x$  и  $u_{\text{ГЛИН}}(t)$ ; 5) смещение нулевого уровня  $u_{\text{ГЛИН}}(t)$ ; 6) задержка начала рабочего участка  $u_{\text{ГЛИН}}(t)$  и фронта сигнала, разрешающего счет импульсов; 7) задержки распространения сигналов в цифровых устройствах.

В целом относительная инструментальная погрешность может находиться на уровне десятых-сотых долей процента, и поэтому обычно  $N_H$  не превышает  $10^4$ .

Быстродействие времяимпульсного вольтметра невелико, поскольку в приборе реализуется последовательный счет импульсов. Из формулы  $T_H = N_H/f_0$  видно, что при заданном  $N_H$  быстродействие тем выше, чем больше  $f_0$ . Увеличение  $f_0$  ограничивается быстродействием счетчика импульсов. Кроме того, с уменьшением  $T_H$  требуется увеличение крутизны напряжения  $u_{\text{глин}}(t)$ , при котором начинает влиять задержка в срабатывании УС, увеличивающая зону неопределенности. Обычно зона неопределенности не должна превышать квант или некоторую его долю.

### **Цифровой вольтметр постоянного тока с двухтактным интегрированием**

Работу вольтметра поясняет структурная схема, изображенная на рис. 10. В исходном состоянии аналоговые ключи  $K_1$  и  $K_2$ , а также логический ключ  $K_3$  находятся в разомкнутом состоянии. Цикл измерения состоит из двух тактов. На первом такте с момента  $t_1$  до  $t_2$  устройство управления УУ замыкает ключ  $K_1$ . На вход интегратора поступает измеряемое постоянное напряжение  $U_x$ , под действием которого выходное напряжение интегратора линейно увеличивается. В момент  $t_1$  открывается также ключ  $K_3$  и на счетчик Сч от генератора квантовых импульсов  $\Gamma$  поступают импульсы с периодом  $T_0$ . При достижении в счетчике числа  $N_1$  (обычно  $N_1$  равно полному объему счетчика) в момент  $t_2$  первый такт заканчивается. Время интегрирования постоянно и равно

$$T_1 = N_1 T_0.$$

В момент  $t_2$  счетчик Сч сбрасывается в нулевое состояние, устройство управления размыкает ключ  $K_1$  и замыкает ключ  $K_2$ . На вход интегратора подается постоянное образцовое напряжение  $U_0$  противоположной полярности. Выходное напряжение интегратора линейно уменьшается и в момент  $t_3$  становится равным 0. Этот момент фиксируется устройством сравнения УС и соответствует окончанию второго такта. За время  $T_x$  на счетчик поступает  $N_x = \frac{T_x}{T_0}$  импульсов. Число  $N_x$  в момент  $t_3$  переписывается

в регистры ЦОУ и индицируется. В момент  $t_3$  счетчик обнуляется, устройство управления возвращается в исходное состояние.

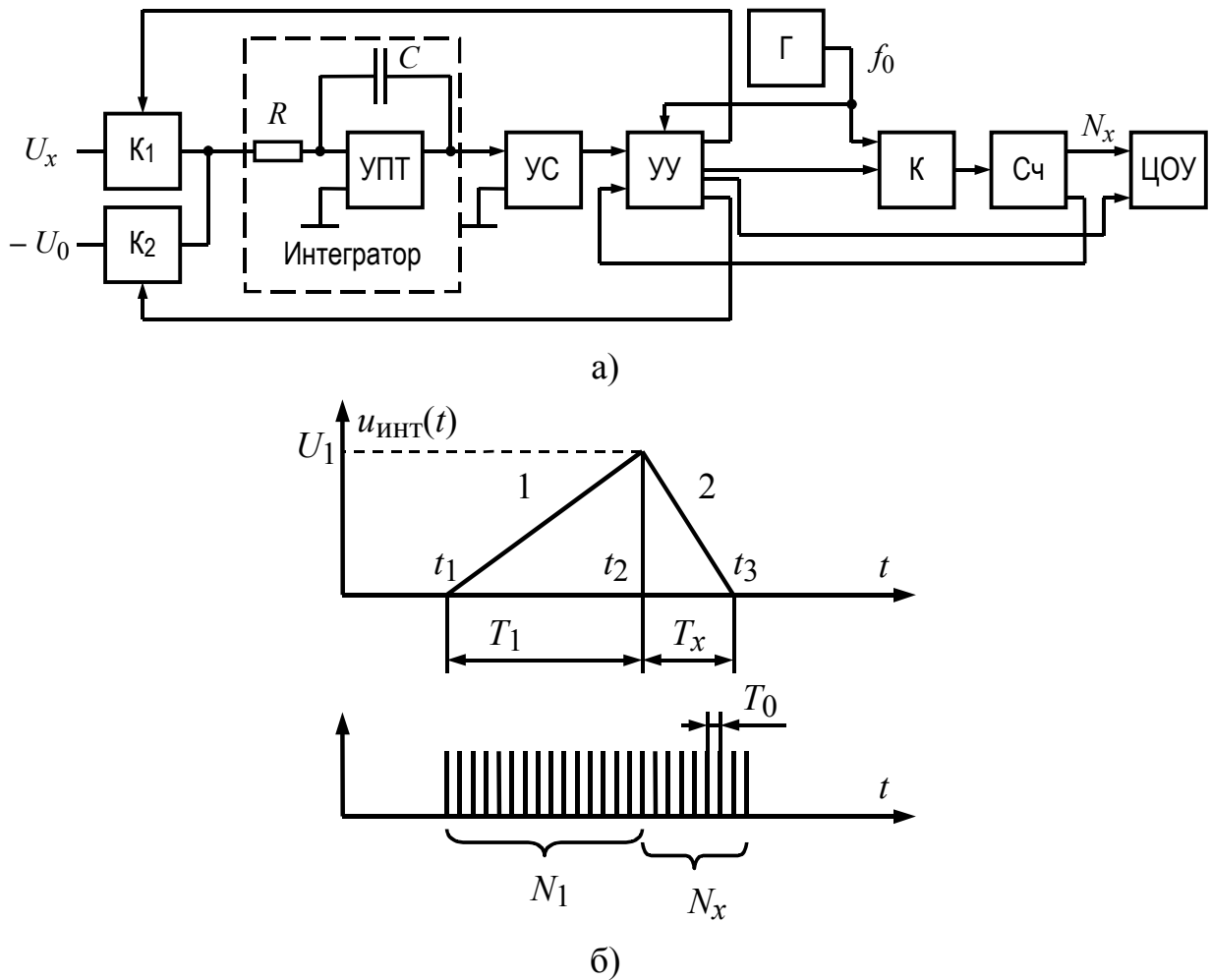


Рис. 10. ЦВ постоянного тока с двухтактным интегрированием:  
а) структурная схема; б) временные диаграммы

На первом такте напряжение интегратора изменяется по закону

$$u_{\text{инт}}(t) = \frac{1}{RC} \int_0^t U_x dt = \frac{U_x}{RC} t$$

и в момент времени  $t = t_2$  достигает некоторого значения  $U_1$ :

$$u_{\text{инт}}(t_2) = U_1 = \frac{U_x T_1}{RC}.$$

На втором такте напряжение интегратора линейно уменьшается:

$$u_{\text{инт}}(t) = U_1 - \frac{1}{RC} \int_0^t U_0 dt = \frac{U_x T_1}{RC} - \frac{U_0 t}{RC}.$$

В момент  $t = t_3$  напряжение интегратора равно нулю:

$$u_{\text{инт}}(t_3) = \frac{U_x T_1}{RC} - \frac{U_0 T_x}{RC} = 0.$$

Следовательно, длительность 2-го такта

$$T_x = \frac{U_x T_1}{U_0} = \frac{U_x N_1 T_0}{U_0}.$$

С учетом  $T_x = N_x T_0$  получаем

$$N_x = \frac{U_x N_1}{U_0}. \quad (10)$$

Результат измерения может быть представлен в виде  $U_x = qN_x$ , следовательно, шаг квантования для ЦВ с двухтактным интегрированием

$$q = \frac{U_0}{N_1}.$$

#### 4. Параллельный АЦП

Аналого-цифровой преобразователь параллельного типа (рис. 11) содержит многоканальный делитель опорного (образцового) напряжения  $U_0$ , устройства сравнения УС (компараторы) и шифратор СД.

Делитель напряжения состоит из  $N$  одинаковых резисторов  $R$ , поэтому напряжения на его выходах различаются на одинаковую величину, равную шагу квантования  $q$ :

$$q = \frac{U_0}{N},$$

Напряжение на инвертирующем входе первого компаратора равно  $q$ , на входе второго –  $2q$  и т.д. Если напряжение на неинвертирующем входе компаратора превышает напряжение на инвертирующем входе, то на выходе компаратора будет уровень логической единицы, в противном случае будет логический ноль.

Шифратор преобразует полученный параллельный единичный код в параллельный двоичный код.

Достоинством АЦП является максимально достижимое быстродействие: время преобразования параллельного АЦП может составлять десятки наносекунд. Недостатком АЦП является большое количество сравнивающих устройств. Так, например, для получения на выходе восьмиразрядного двоичного кода, обеспечивающего погрешность

$\delta = \frac{1}{N} = \frac{1}{2^8} = \frac{1}{256} 100\% \approx 0,5\%$ , потребуется 256 компараторов. Поскольку

реализация большого числа компараторов затруднительна, то АЦП данного типа обладают невысокой разрядностью.

Благодаря высокому быстродействию параллельные АЦП измеряют мгновенное значение, поэтому при наличии помехи в измеряемом напряжении результат измерения будет содержать погрешность.

### Цифроаналоговые преобразователи

Цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) используется для преобразования входного кода  $N$  в соответствующее значение квантованной по уровню величины. Наиболее широко используют преобразователи, выходная величина которых пропорциональна входному коду:

$$y = Nq,$$

где  $q$  – шаг квантования, называемый также квантом.

Входной код может быть преобразован в различные электрические величины: напряжение, ток, сопротивление, временной интервал, угол сдвига фаз и т.д. Среди преобразователей «код-аналог» наибольшее распространение получили преобразователи кода в напряжение и преобразователи кода в ток, поскольку именно эти величины наиболее удобны для различных преобразований в цифровых измерительных приборах.

### Кодоимпульсные АЦП и ЦВ

Кодоимпульсные АЦП (рис. 14) содержат цифро-аналоговый преобразователь ЦАП, устройство сравнения УС и устройство управления УУ. На вход устройства сравнения УС подаются измеряемое напряжение постоянного тока  $U_x$  и компенсирующее напряжение  $u_k(t)$  с выхода цифро-аналогового преобразователя. В процессе преобразования  $u_k(t)$  изменяется устройством управления УУ по определенной программе, приближаясь к  $U_x$ .

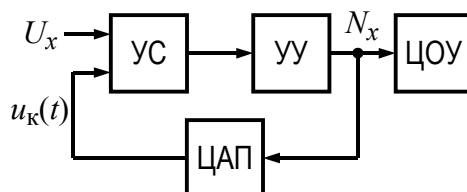


Рис. 14. Структурная схема кодоимпульсного ЦВ

### Кодоимпульсные АЦП и ЦВ последовательного приближения

В таких устройствах реализован метод последовательного приближения, называемый также методом поразрядного уравнивания.

Структурная схема кодоимпульсного двоичного АЦП последовательного приближения приведена на рис. 17. Устройство управления содержит: генератор прямоугольных импульсов Г; распределитель импульсов РИ; регистр, состоящий из триггеров Т; логические элементы И и ИЛИ. Количество триггеров в регистре и логических элементов И и ИЛИ определяется количеством разрядов кода. Верхний триггер соответствует старшему двоичному разряду, нижний – младшему.

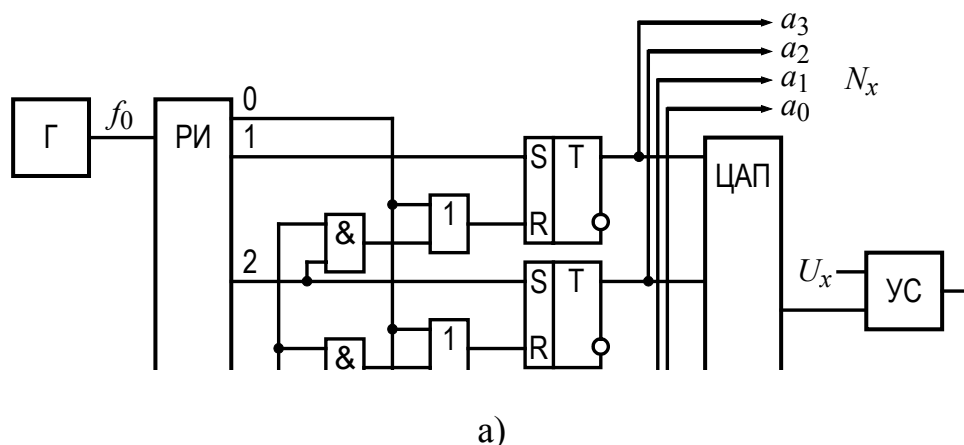
Рассмотрим в качестве примера преобразование напряжения  $U_x = 10,5$  В, если число разрядов  $n$  равно 4. Пусть опорное напряжение ЦАП  $U_0 = 16$  В, следовательно,  $q = \frac{U_0}{2^n} = \frac{16}{2^4} = 1$  В.

Процесс преобразования  $U_x$  в код происходит последовательно во времени в направлении от старшего разряда к младшему. Импульсы от генератора последовательно появляются на выходах РИ.

В начале преобразования импульс с выхода 0 РИ проходит через все элементы ИЛИ на R-входы триггеров и устанавливает их в исходное состояние 0.

Первый импульс поступает на S-вход триггера Т1, соответствующего разряду с весом 8, и устанавливает его в состояние 1. На ЦАП поступает двоичный код 1000. На выходе ЦАП образуется напряжение  $u_k(t) = Nq = 8 \cdot 1 \text{ В} = 8 \text{ В}$ .

Если  $u_k(t) < U_x$ , то на выходе УС появляется уровень 0, который закрывает все элементы И. При  $u_k(t) \geq U_x$  на выходе УС образуется уровень 1, который открывает все элементы И. Поскольку  $U_x > u_k(t)$ , то на выходе СУ будет 0.



а)  
Рис. 17. Кодоимпульсный ЦВ постоянного тока:  
а) схема; б) временные диаграммы

Второй импульс устанавливает Т2 в состояние 1 и не изменяет состояния Т1, поскольку элемент И закрыт уровнем 0 с выхода СУ. На ЦАП поступает код 1100. На выходе ЦАП образуется напряжение, значение которого соответствует сумме весовых коэффициентов:  $u_k(t) = Nq = (8+4) \cdot 1 \text{ В} = 12 \text{ В}$ .

Поскольку компенсирующее напряжение  $u_k(t) = 12 \text{ В}$  превысило измеряемое напряжение  $U_x = 11,5 \text{ В}$ , то на выходе СУ появится 1.

Третий импульс устанавливает по S-входу триггер Т3 в состояние 1. Одновременно с этим через открытый уровнем 1 с выхода СУ элемент И сигнал с выхода распределителя импульсов сбрасывает триггер Т2 по R-входу. На ЦАП поступает код 1010. На выходе ЦАП образуется напряжение  $u_k(t) = (8+2) \cdot 1 \text{ В} = 10 \text{ В}$ . Поскольку  $u_k(t) < U_x$ , то на выходе УС появится уровень 0, сохраняющий состояние тестируемого разряда.

Четвертый импульс устанавливает триггер младшего разряда Т4 в состояние 1. На ЦАП поступает код 1011, соответствующий выходному напряжению ЦАП  $u_k(t) = (8+2+1) \cdot 1 \text{ В} = 11 \text{ В}$ . Поскольку теперь компенсирующее напряжение  $u_k(t)$  превысило измеряемое  $U_x$ , то пятый импульс с выхода РИ через элемент И сбрасывает триггер младшего разряда в 0 по R-входу.

Шестой импульс записывает полученный код в регистр памяти для дальнейшего использования другими устройствами. По окончании преобразования на выходе АЦП появляется сигнал, например, «Готов», или DR (*Data Ready* – данные готовы), подтверждающий окончание преобразования.

Таким образом, полученный код 1010 представляет собой двоичное число квантов  $q$ , укладываемое в измеряемом напряжении  $U_x$ . Если выбрано  $q = 1$  В, то этот код численно равен измеряемому напряжению.

..

Таблица 1. Работа кодоимпульсного ЦВ

№ такта	Код	$u_k(t)$ , В	Выход УС
1	1 0000 0000	1,00	0
2	1 1000 0000	1,20	0
3	1 1100 0000	1,60	1
4	1 1010 0000	1,40	0
5	1 1011 0000	1,50	0
6	1 1011 1000	1,52	0
7	1 1011 1100	1,56	0
8	1 1011 1110	1,58	0
9	1 1011 1111	1,59	1
10	1 1011 1110	1,58	–

Быстродействие АЦП ограничивают время установления напряжения на выходе ЦАП и время срабатывания УС.

Для снижения влияния помех в ЦВ может применяться предварительная аналоговая фильтрация сигнала либо усреднение кодов результатов отдельных измерений. В обоих случаях время измерения увеличивается.

## ЗАДАНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа содержит 8 заданий (задач или теоретических вопросов) и проектное задание 9. Задания 1-3 имеют общую для всех вариантов формулировку. Данные к задачам приведены в табл. 2, 3, 4.

Задания 4-8 представляют собой задачи и теоретические вопросы. Сведения о номерах задач и теоретических вопросов для каждого из 10 вариантов приведены в табл. 5.

Задание 9 (проектное задание) является показателем освоения данного курса.

Номер варианта курсовой работы соответствует порядковому номеру студента в списке группы на момент получения индивидуального задания на курсовую работу.

### Задание 1

Постройте график выходного напряжения интегратора частотно-импульсного ЦВ, а также определите частоту  $f_x$  и результат преобразования  $N_x$ , если сопротивления резисторов интегратора  $R_1 = 20$  кОм,  $R_2 = 20$  кОм, емкость конденсатора интегратора  $C = 10$  нФ, напряжение порога  $U_0 = 10$  В, амплитуда импульса обратной связи  $U_{o.c} = 10$  В, длительность импульса обратной связи  $t_{o.c} = 100$  мкс, измеряемое напряжение  $U_x = 1$  В. Частота измеряется в течение времени  $T_{и} = 1$  с (табл. 2).

Таблица 2. Данные к заданию 1

Номер варианта	$R_1$ , кОм	$R_2$ , кОм	$C$ , нФ	$U_0$ , В	$U_{o.c}$ , В	$t_{o.c}$ , мкс	$U_x$ , В	$T_{и}$ , с
1	20	20	10	10	10	100	1	1
2	10	20	10	10	10	100	1	1
3	20	10	20	10	10	100	1	1
4	10	10	10	10	10	100	1	1
5	20	50	10	10	10	100	1	1
6	100	50	5	5	10	100	1	1
7	100	50	5	5	10	100	2	1
8	20	10	50	5	10	100	2	1
9	100	100	5	5	10	100	2	1

Номер варианта	$R_1$ , кОм	$R_2$ , кОм	$C$ , нФ	$U_0$ , В	$U_{o.c.}$ , В	$t_{o.c.}$ , мкс	$U_x$ , В	$T_{ин}$ , с
10	20	10	20	10	10	100	2	1
11	20	20	10	10	10	1	10	1
12	10	20	10	10	10	1	10	1
13	20	10	20	10	10	1	10	1
14	10	10	10	10	10	1	10	1
15	20	50	10	10	10	1	10	1
16	100	50	5	5	10	1	10	1
17	100	50	5	5	10	1	20	1
18	20	10	50	5	10	1	20	1
19	100	100	5	5	10	1	20	1
20	20	10	20	10	10	1	20	1
21	20	20	10	10	10	10	10	1
22	10	20	10	10	10	10	10	1
23	20	10	20	10	10	10	10	1
24	10	10	10	10	10	10	10	1
25	20	50	10	10	10	10	10	1
26	100	50	5	5	10	10	10	1
27	100	50	5	5	10	10	20	1
28	20	10	50	5	10	10	20	1
29	100	100	5	5	10	10	20	1
30	20	10	20	10	10	10	20	1

На отдельных рисунках постройте графики и определите  $N_x$  для следующих случаев изменения одного из параметров:

- 1) при увеличении емкости конденсатора интегратора  $C$  в 2 раза;
- 2) при увеличении сопротивления резистора интегратора  $R_1$  в 2 раза;
- 3) при увеличении измеряемого напряжения  $U_x$  в 2 раза;
- 4) при увеличении напряжения порога  $U_0$  в 2 раза;
- 5) при увеличении амплитуды импульса обратной связи  $U_{o.c.}$  в 2 раза;
- 6) при увеличении длительности импульса обратной связи  $t_{o.c.}$  в 2 раза.

Сделайте вывод о влиянии изменяемых параметров на напряжение интегратора и результат преобразования  $N_x$ .

Указание. На графиках должен быть изображен участок установления колебаний длительностью  $t_{уст}$  и первые два цикла колебаний. Для построения графиков определите  $T_x$ ,  $t_{инт}$ ,  $U_2$ ,  $t_{уст}$ . На каждом графике

укажите, какой из параметров был изменен. Все графики должны быть построены в одинаковом масштабе.

### Задание 2

Постройте график напряжения на выходе интегратора цифрового вольтметра с двухтактным интегрированием и определите результат преобразования  $N_x$ , если измеряемое напряжение  $U_x = 2$  В, опорное напряжение  $U_0 = 1$  В, емкость конденсатора интегратора  $C = 0,22$  мкФ, сопротивление резистора интегратора  $R = 470$  кОм, частота генератора тактовых импульсов  $f_0 = 50$  кГц,  $N_1 = 1000$  (табл. 3).

Таблица 3. Данные к заданию 2

Номер варианта	$R_{\text{инт}}, \text{кОм}$	$C_{\text{инт}}, \text{мкФ}$	$f_0, \text{кГц}$	$N_1$	$U_0, \text{В}$	$U_x, \text{В}$
1	10	1	50	$10^3$	1	1,5
2	100	1	50	$10^3$	1	1,5
3	100	1	50	$10^4$	0,1	0,05
4	10	1	100	$10^3$	1	1,5
5	100	1	100	$10^3$	1	1,5
6	100	1	100	$10^4$	0,1	0,08
7	10	1	25	$10^3$	1	1,5
8	100	1	25	$10^3$	1	1,5
9	100	1	25	$10^4$	1	1,5
10	20	1	12,5	$10^3$	1	1,5
11	10	1	50	$10^3$	10	1,5
12	100	1	50	$10^3$	10	1,5
13	100	1	50	$10^4$	1	0,05
14	10	1	100	$10^3$	10	1,5
15	100	1	100	$10^3$	10	1,5
16	100	1	100	$10^4$	1	0,08
17	10	1	25	$10^3$	10	1,5
18	100	1	25	$10^3$	10	1,5
19	100	1	25	$10^4$	10	1,5
20	20	1	12,5	$10^3$	10	1,5

Номер варианта	$R_{\text{инт}}, \text{кОм}$	$C_{\text{инт}}, \text{мкФ}$	$f_0, \text{кГц}$	$N_1$	$U_0, \text{В}$	$U_x, \text{В}$
21	10	1	50	$10^3$	20	1,5
22	100	1	50	$10^3$	20	1,5
23	100	1	50	$10^4$	2	0,05
24	10	1	100	$10^3$	20	1,5
25	100	1	100	$10^3$	20	1,5
26	100	1	100	$10^4$	2	0,08
27	10	1	25	$10^3$	20	1,5
28	100	1	25	$10^3$	20	1,5
29	100	1	25	$10^4$	20	1,5
30	20	1	12,5	$10^3$	20	1,5

На отдельных рисунках постройте графики и определите  $N_x$  для следующих случаев изменения одного из параметров:

- 1) при увеличении измеряемого напряжения  $U_x$  в 2 раза;
- 2) при увеличении емкости конденсатора интегратора  $C$  в 2 раза;
- 3) при увеличении частоты генератора тактовых импульсов  $f_0$  в 2 раза;
- 4) при увеличении сопротивления резистора интегратора  $R$  в 2 раза;
- 5) при увеличении опорного напряжения  $U_0$  в 2 раза.

Сделайте вывод о влиянии изменяемых параметров на напряжение интегратора и результат преобразования  $N_x$ .

### Задание 3

Постройте график компенсирующего напряжения  $u_k(t)$  и сигнала устройства сравнения  $u_{yc}(t)$ , а также определите двоичный код  $N$  результата измерения кодоимпульсного АЦП с поразрядным уравниванием. В АЦП применен 8-разрядный ЦАП с матрицей  $R-2R$ , опорное напряжение ЦАП  $U_0 = 8 \text{ В}$ , измеряемое напряжение составляет 5,759 В.

Данные о значении  $u_k(t)$  и сигнале устройства сравнения  $u_{yc}(t)$  на каждом такте оформите в виде таблицы.

Таблица 4. Данные к заданию 3

Номер варианта	$n$	$U_0$ , В	$U_x$ , В
1	8	8	5,759
2	9	8	6,707
3	10	5,12	3,871
4	11	16	14,872
5	12	1,024	0,8675
6	8	1,024	0,5715
7	9	2,56	0,907
8	10	2,56	1,426
9	11	3,2	2,761
10	12	5,12	4,017
11	12	8	5,759
12	8	8	6,707
13	9	5,12	3,871
14	10	16	14,872
15	11	1,024	0,8675
16	12	1,024	0,5715
17	8	2,56	0,907
18	9	2,56	1,426
19	10	3,2	2,761
20	11	5,12	4,017
21	11	8	5,759
22	12	8	6,707
23	8	5,12	3,871
24	9	16	14,872
25	10	1,024	0,8675
26	11	1,024	0,5715
27	12	2,56	0,907
28	8	2,56	1,426
29	9	3,2	2,761
30	10	5,12	4,017

## Задания 4-8

Таблица 5. Данные к заданиям 4-8

Номер варианта	Задание 4	Задание 5	Задание 6	Задание 7	Задание 8
	номера вопросов и задач				
1	1	11	21	31	41
2	2	12	22	32	42
3	3	13	23	33	43
4	4	14	24	34	44
5	5	15	25	35	45
6	6	16	26	36	46
7	7	17	27	37	47
8	8	18	28	38	48
9	9	19	29	39	49
10	10	20	30	40	50
11	1	12	23	34	45
12	2	13	24	35	46
13	3	14	25	36	47
14	4	15	26	37	48
15	5	16	27	38	49
16	6	17	28	39	50
17	7	18	29	40	41
18	8	19	30	31	42
19	9	20	21	32	43
20	10	11	22	33	44
21	1	13	25	37	49
22	2	14	26	38	50
23	3	15	27	39	41
24	4	16	28	40	42
25	5	17	29	31	43
26	6	18	30	32	44
27	7	19	21	33	45
28	8	20	22	34	46
29	9	11	23	35	47
30	10	12	24	36	48

1. Как изменится относительная погрешность квантования цифрового частотомера при увеличении измеряемой частоты в 2 раза?
2. Как изменится относительная погрешность квантования цифрового периодомера при увеличении измеряемой частоты в 2 раза?
3. Фазометр какого типа (мгновенного или среднего сдвига фаз) следует использовать, если частота  $f_x$  велика?
4. Почему с уменьшением измеряемой частоты в цифровом фазометре среднего сдвига фаз увеличивается погрешность?
5. Как изменится число импульсов в пачке и число пачек импульсов в цифровом фазометре среднего сдвига фаз при увеличении измеряемой частоты в 2 раза и неизменном значении угла сдвига фаз?
6. Как изменится число импульсов в пачке и число пачек импульсов в цифровом фазометре среднего сдвига фаз при увеличении коэффициента деления делителя частоты в 2 раза?
7. Как изменится число импульсов в пачке и число пачек импульсов в цифровом фазометре среднего сдвига фаз при увеличении значения угла сдвига фаз в 2 раза?
8. Как изменится относительная погрешность квантования цифрового фазометра мгновенного сдвига фаз при увеличении измеряемой частоты в 2 раза?
9. Каким должен быть коэффициент деления делителя частоты в цифровом фазометре среднего сдвига фаз для обеспечения шага квантования, равного  $0,1^\circ$ ?
10. Как изменится относительная погрешность квантования время-импульсного ЦВ при увеличении частоты квантуемых импульсов  $f_0$  в 2 раза?
11. Как изменится относительная погрешность квантования время-импульсного ЦВ при увеличении скорости нарастания ГЛИН в 2 раза?
12. Как изменится относительная погрешность квантования ЦВ двухтактного интегрирования при уменьшении образцового напряжения  $U_0$  в 2 раза?
13. Благодаря чему напряжение на выходе ЦАП с матрицей весовых резисторов пропорционально десятичному числовому значению  $N$  входного двоичного кода? Что обеспечивает такой перевод числа  $N$  из двоичной системы в десятичную?
14. Чему равно наибольшее сопротивление резистора в 8-разрядном ЦАП на основе матрицы весовых резисторов, если сопротивление весового резистора старшего разряда  $R = 1\text{кОм}$ ?
15. На сколько процентов изменится напряжение на выходе ЦАП при изменении опорного напряжения  $E$  на 5%?

16. Для чего необходим делитель частоты кварцевого генератора опорной частоты в частотомере?

17. Какой период дискретизации следует выбрать при дискретизации сигнала, имеющего спектр от 0 до  $f_B$ ?

18. Постройте элемент 8-ИЛИ с помощью только элементов 4-ИЛИ.

19. Постройте элемент 8-И с помощью только элементов 4-И.

20. Нарисуйте схему диодно-резистивного элемента 3-И.

21. Нарисуйте схему диодно-резистивного элемента 4-ИЛИ.

22. Как изменится относительная погрешность квантования частотно-импульсного ЦВ при увеличении напряжения порога  $U_0$  в 2 раза?

23. Какое минимальное время требуется для измерения частоты  $f_x$  в диапазоне 10 Гц – 1 кГц с погрешностью не более 0,1%.

24. Какую минимальную частоту можно измерить за время 1 с с погрешностью не хуже  $10^{-4}\%$ ?

25. Какую разрешающую способность имеет частотомер, если время измерения выбрано равным 0,1 с?

26. Какую максимальную частоту можно измерить цифровым частотомером с номинальным значением  $N_H = 100000$  за время измерения 10 мс?

27. В каком разряде цифрового отсчетного устройства частотомера должна находиться десятичная точка для представления результата измерения в единицах герц, если выбран режим, при котором время измерения составляет 100 с?

28. В цифровом частотомере со шкалой 9 999 999 предусмотрено три значения интервала времени счета: 0,1; 1; 10 с. Какое из них выбрать, если ожидаемое значение измеряемой частоты составляет приблизительно 5 МГц?

29. Можно ли измерить частоту 100 Гц за время 0,1 с с погрешностью не более 1%?

30. Частотомер имеет переключатель времени измерения  $T_{и} = 1, 10, 100$  мс; 1, 10 с. Какое время измерения следует выбрать для измерения частоты с погрешностью не более 20 Гц?

31. Какое время измерения следует установить на частотомере для измерения частоты 90 кГц с погрешностью не более 0,01%?

32. Сколько требуется устройств сравнения (компараторов) для реализации 6-разрядного АЦП параллельного типа?

вольтметра, если частота генератора счетных импульсов  $f_0$  равна 1 МГц, номинальное напряжение  $U_H = 1$  В, скорость нарастания напряжения  $k = 1$  В/мс?

50. Во время-импульсном вольтметре генератор линейно изменяющегося напряжения представляет собой интегратор, на вход которого подается постоянное напряжение  $U = 1$  В. Сопротивление входного резистора интегратора  $R = 1$  МОм, емкость конденсатора  $C = 1$  мкФ. Определите шаг квантования и время измерения, если частота генератора счетных импульсов  $f_0$  равна 1 МГц, а номинальное напряжение  $U_H = 1$  В. Какую емкость должен иметь счетчик импульсов?

### Задание 9 (проектное задание).

Разработать универсальный цифровой частотомер, реализующий указанные в таблице 7 характеристики. Представить структурную и принципиальную схемы прибора, оформленные с соблюдением требований ЕСКД. Изобразить временные диаграммы с учетом реальных параметров применяемых типов ИМС. Тип устройства управления (УУ) и применяемую серию ИМС уточнить у преподавателя.

Таблица 6. Данные к заданию 9

Номер варианта	Частота кв. генератора, МГц	Диапазон измеряемых частот, Гц	Допускаемая погрешность измерения частоты, %	Диапазон измеряемых интервалов времени, с	Допускаемая погрешность измерения периода, %	Тип УУ
1	0,1	$0,01 \cdot 10^5$	0,01	$10^{-2} - 10^2$	0,01	1
2	0,2	$0,01 \cdot 10^6$	0,1	$10^{-3} - 10^2$	0,1	2
3	0,5	$0,01 \cdot 10^7$	1	$10^{-4} - 10^2$	1	3
4	1	$0,1 \cdot 10^5$	0,02	$10^{-2} - 10^1$	0,02	4
5	2	$0,1 \cdot 10^6$	0,2	$10^{-3} - 10^1$	0,2	1
6	5	$0,1 \cdot 10^7$	2	$10^{-4} - 10^1$	2	2
7	10	$1 \cdot 10^5$	0,005	$10^{-2} - 1$	0,005	3
8	15	$1 \cdot 10^6$	0,05	$10^{-3} - 1$	0,05	4
9	20	$1 \cdot 10^7$	0,5	$10^{-4} - 1$	0,5	1
10	25	$10 \cdot 10^7$	5	$10^{-5} - 10^2$	5	2
11	0,1	$0,01 \cdot 10^5$	0,01	$10^{-2} - 10^2$	0,1	3

Номер варианта	Частота кв. генератора, МГц	Диапазон измеряемых частот, Гц	Допускаемая погрешность измерения частоты, %	Диапазон измеряемых интервалов времени, с	Допускаемая погрешность измерения периода, %	Тип УУ
12	0,2	$0,01-10^6$	0,1	$10^{-3}-10^2$	1	4
13	0,5	$0,01-10^7$	1	$10^{-4}-10^2$	0,02	1
14	1	$0,1-10^5$	0,02	$10^{-2}-10^1$	0,2	2
15	2	$0,1-10^6$	0,2	$10^{-3}-10^1$	2	3
16	5	$0,1-10^7$	2	$10^{-4}-10^1$	0,005	4
17	10	$1-10^5$	0,005	$10^{-2}-1$	0,05	1
18	15	$1-10^6$	0,05	$10^{-3}-1$	0,5	2
19	20	$1-10^7$	0,5	$10^{-4}-1$	5	3
20	25	$10-10^7$	5	$10^{-5}-10^2$	10	4
21	0,2	$0,01-10^5$	0,01	$10^{-2}-10^2$	0,1	1
22	0,4	$0,01-10^6$	0,1	$10^{-3}-10^2$	1	2
23	1	$0,01-10^7$	1	$10^{-4}-10^2$	0,02	3
24	2	$0,1-10^5$	0,02	$10^{-2}-10^1$	0,2	4
25	4	$0,1-10^6$	0,2	$10^{-3}-10^1$	2	1
26	8	$0,1-10^7$	2	$10^{-4}-10^1$	0,005	2
27	10	$1-10^5$	0,005	$10^{-2}-1$	0,05	3
28	12	$1-10^6$	0,05	$10^{-3}-1$	0,5	4
29	16	$1-10^7$	0,5	$10^{-4}-1$	5	1
30	20	$10-10^7$	5	$10^{-5}-10^2$	10	2

## **ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ КУРСОВЫХ РАБОТ**

При выполнении курсовых работ необходимо строго придерживаться указанных ниже правил. Работы, выполненные без соблюдения этих правил, не засчитываются и возвращаются студенту для переработки.

1. Курсовая работа должна быть оформлена в соответствии с установленными требованиями к оформлению КР. На титульном листе должны быть указаны фамилия, имя, отчество, название дисциплины, вариант задания и дата сдачи на проверку.

2. Работа должна содержать все предусмотренные задания в строгом соответствии с номером варианта. Курсовые работы, содержащие не все задания, а также задания не своего варианта, не засчитываются.

3. Решения задач надо располагать в том порядке, в котором они указаны в задании, с обязательным указанием номера задачи.

4. Перед решением каждой задачи следует полностью записать ее условие с указанием конкретных исходных данных для своего варианта.

5. Решения задач следует излагать подробно и аккуратно, поясняя все действия по ходу решения и делая необходимые изображения.

Никакая часть настоящего материала не может быть скопирована, модифицирована, опубликована, размещена в печатных или электронных средствах массовой информации, включая сторонние сайты, передана третьим лицам или использована каким-либо иным способом, без письменного согласия автора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для втузов. – М.: Дрофа, 2005. – 415 с.
2. Основы метрологии и электрические измерения/ Под ред. Е.М. Душина. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.
3. Метрология и радиоизмерения: Учебник для вузов/ Под ред. В.И. Нефедова. – М: Высш. шк., 2003. – 526 с.
4. Браммер Ю.А. Импульсные и цифровые устройства: Учеб. для студентов. – М.: Высш. шк., 2003. – 351 с.
5. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2005. – 790 с.

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение . . . . .	3
Общие методические указания . . . . .	3
Краткие сведения из теории . . . . .	5
Задания курсовой работы . . . . .	22
Правила выполнения и оформления курсовых работ . . . . .	33
Литература . . . . .	34