

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ГОЛОВНОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО ОРГАНИЗАЦИИ  
ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ  
ПЕДАГОГИЧЕСКИХ И РУКОВОДЯЩИХ КАДРОВ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ**

**ОТРАСЛЕВОЙ ЦЕНТР ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ ПРИ  
ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**  
**по модулю**  
**“ИНФОРМАЦИОННО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И  
СИСТЕМЫ”**

**Тошкент – 2017**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН**

**ГОЛОВНОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО  
ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ И РУКОВОДЯЩИХ  
КАДРОВ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**ОТРАСЛЕВОЙ ЦЕНТР ПЕРЕПОДГОТОВКИ И  
ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ  
КАДРОВ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**направления**

**«ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ»**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

**по модулю**

**«ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И  
СИСТЕМЫ»**

**ТАШКЕНТ -2017**

Данный учебно-методический комплекс разработан на основании учебного плана и программы утвержденного приказом Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан № 603 от 29 августа 2017 года

**Разработали:** А. Мавлянов – ст.преп. ТГТУ

**Рецензент:** А. Хайдаров – к.ф.-м.н.доцент кафедры  
«Приборостроение» ТГТУ

Данный учебно-методический комплекс рекомендован к изданию Советом Ташкентского государственного технического университета (протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2017 года).

## СОДЕРЖАНИЕ

I. Рабочая программа.....	5
II. Интерактивные методы обучения, используемые в модуле.....	10
III. Теоретические материалы .....	14
IV. Материалы практических занятий.....	38
V. Банк кейсов.....	56
VI. Темы для самостоятельного обучения.....	59
VII. Глоссарий .....	60
VIII. Используемые литературы.....	75

## I. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Рабочая программа включает в себя изучение теоретических и практических основ информационно-измерительной техники и систем, средства, методы, структуру, а также задач по проведению научно-исследовательской работы в информационно-измерительной техники и систем.

### Цели и задачи учебного модуля

**Целью** изучения модуля является сформировать у слушателя навыки экономического мышления, направленного на анализ функционирования подразделений систем управления государственными, акционерными и частными фирмами, научно-производственными, научными и проектными организациями, органов государственного управления в целях рационального управления экономикой, производством и социальным развитием.

#### **Задачи модуля:**

- “Информационно- измерительная техника и системы” ознакомление с актуальными проблемами специализации направления и их решениями;
- В результате освоения дисциплины слушатели должны знать: особенности анализа и обобщения экономических, социальных и организационных показателей, характеризующих состояние производства и управления; современное состояние научного знания об управлении и ведении хозяйства; новые методы и приёмы управления, позволяющие достигать организации эффективных результатов.
- В результате освоения дисциплины слушатели должен уметь: организовать и провести исследование социально-экономической обстановки, конкретных форм управления; разрабатывать варианты эффективных управленческих решений и обосновывать их; применять нужные методы проектирования систем управления.

### **Требования, предъявляемые к знаниям, умениям и навыкам по модулю**

Слушатель, в пределах задач модуля

“**Информационно- измерительная техника и системы**” должен:

**знать и уметь:**

- место и роль технологии в развитии электроники и на современном этапе;
- основные тенденции развития отрасли и технологии;

- тенденции и перспективы развития информационно-измерительная техники и системы, а также смежных областей науки и техники;
- передовой отечественный и зарубежный научный опыт в профессиональной сфере деятельности;

- самостоятельно использовать теоретические и практические знания для решения задач различных типов и различных уровней сложности, как в рамках изучаемой дисциплины, так и в других дисциплинах, использующих материалы данной дисциплины;

- анализировать полученные результаты.

*владеть:*

- символикой изучаемой дисциплины;

- терминологией изучаемой дисциплины;

- навыками практического использования математического аппарата дисциплины для решения различных задач, возникающих в дальнейшей учебной и профессиональной деятельности;

- навыками научного творчества.

*владеть навыками:*

- пользования и применения на практике компьютерных и коммуникационных технологий;

- создания показательных презентаций для лекционных и практических занятий с применением современных педагогических и информационных технологий их применения на практике;

- создания и использования электронной учебно-методической базы по данному модулю дисциплин.

*иметь компетенции:*

- способностью применять знания на практике;

- способностью приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии;

- фундаментальной подготовкой по основам профессиональных знаний и готовностью к использованию их в профессиональной деятельности;

- навыками работы с компьютером;

- базовыми знаниями в областях информатики и современных информационных технологий, навыки использования программных средств и навыки работы в компьютерных сетях, умение создавать базы данных и использовать ресурсы Интернет;

- способностью к анализу и синтезу;

- умением понять поставленную задачу;

- умением формулировать результат;

- умением на основе анализа увидеть и корректно сформулировать результат.

### **Применение информационных и педагогических технологий**

При проведении обучения запланировано использование современных методов, педагогических и информационно-коммуникативных технологий:

- лекции запланировано проводить в форме презентаций с использованием современных компьютерных технологий;
- практические занятия запланировано проводить с помощью интерактивных методов (кейс-стади, деловые игры, интервью и др.).

### **Взаимосвязь учебного модуля с другими модулями**

Содержание модуля непосредственно связано с модулями “технологии приборостроение” и “электроника и микроэлектроника”. Служит для решения вопросов внедрения в педагогическую деятельность проблематики и задач отрасли измерительные системы, а также служит для объединения учебного процесса и производства путем внедрения новой техники и технологий данной отрасли.

### **Роль модуля в системе высшего образования**

Происходящие коренные изменения в системе образования, особенно научно-техническое развитие определяет роль модуля “Информационно-измерительная техника и системы” в системе высшего образования.

Организация эффективного и плодотворного образования путем создания новых инновационных технологий обучения модуля “Информационно-измерительная техника и системы” и их применения в системе образования помогает системно увеличить качество образования.

### **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСОВ**

№	Темы модуля	Учебная нагрузка, час					
		Аудиторная учебная нагрузка					
		Общие	Итого	Из них:			Самостоятельная работа
				теоретические	практические	внеаудиторное	
1	Принципы цифровых вычислений	8	6	2	2	2	2
2	Интеллектуальные устройства	8	6	2	2	2	2
<b>Общие</b>		<b>16</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЯ

### 1-тема Преобразователи. Измерительные системы

Измерительная система. Методы измерения. Чувствительность, нулевая точка, линейность и диапазон измерения, разрешающая способность, гистерезис и ошибка,

*PID* контроль, точность и воспроизводимость. Механические модели. Нулевой метод. Шумовым порог. Ошибка диапазона. Преобразование Фурье.

### 2-тема Цифровая обработка сигналов

Обработка сигналов. Цифровая обработка сигналов. Цифровые фильтры. Передаточная функция. Инструментальные средства. Преобразования физических явлений в электрические сигналы. Активные фильтры. Инструментальный усилитель. Тепловой шум. Дробовый шум. Фликкер- шум, Окружающий шум. Снижение окружающего шума.

## СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ МОДУЛЯ

На практических занятиях у слушателей закрепляются изученные теоретические основы измерительной техники, решаются практические задачи. Полученные знания и навыки подкрепляются по учебникам и учебным пособиям, лекционным материалам, научным статьям и тезисам пользоваться раздаточным материалом.

### 1-практическое занятие:

#### Измерение силы постоянного электрического тока

Методы измерения мощности постоянного электрического тока.

Причины возникновения и способы учета погрешностей при измерении мощности постоянного электрического тока.

Устройство, принцип действия и основные характеристики электродинамических и ферродинамических ваттметров.

Устройство, принцип действия и основные характеристики цифровых ваттметров.

Метод косвенных измерений мощности при помощи амперметра и вольтметра, включая схемы подключения приборов, расчетные формулы для определения мощности и способы расчета погрешности. Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.

Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

### 2-практическое занятие:

#### Измерение частоты и периода электрических сигналов

Переменное электрическое напряжение и параметры, которые его характеризуют.

Измерение частоты и периода электрических сигналов методами непосредственной оценки и сравнения с мерой.

Причины возникновения и способы учета погрешностей при измерении частоты и периода электрических сигналов.

Устройство, принцип действия и основные характеристики резонансных и цифровых частотомеров.

Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.

Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

### **Форма обучения**

Форма обучения отражает такие внешние стороны учебного процесса, как способ его существования: порядок и режим; способ организации обучения: лекция, семинар, самостоятельная работа и пр; способ организации совместной деятельности обучающего и обучающихся: фронтальная, коллективная, групповая, индивидуальная.

При обучении важным является выбор формы организации учебной деятельности участников:

- Коллективная – коллективное, совместное выполнение общего учебного задания всеми студентами. Характер полученного результата: итог коллективного творчества.

- Групповая – совместное выполнение единого задания в малых группах. Характер полученного результата: итог группового сотрудничества на основе вклада каждого.

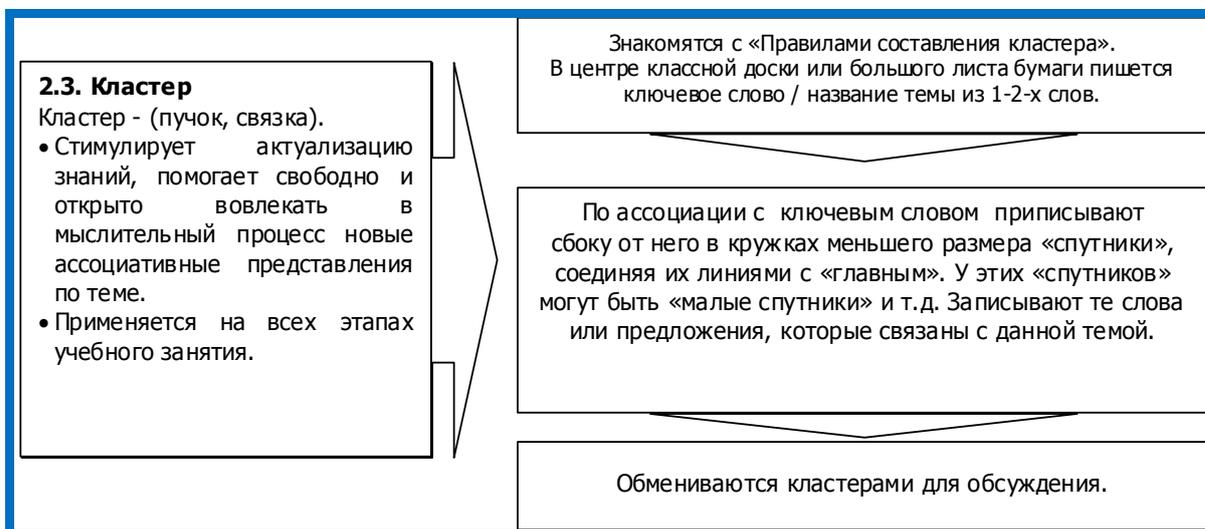
- Индивидуальная – индивидуальное выполнение учебного задания. Характер полученного результата: итог индивидуального творчества. Обычно предшествует групповой работе.

### **Критерии оценки**

<b>№</b>	<b>Критерии оценки</b>	<b>Балл</b>	<b>Максимальный балл</b>
1	Кейс	1.5 балла	2,5
2.	Самостоятельная работа	1.0 балла	

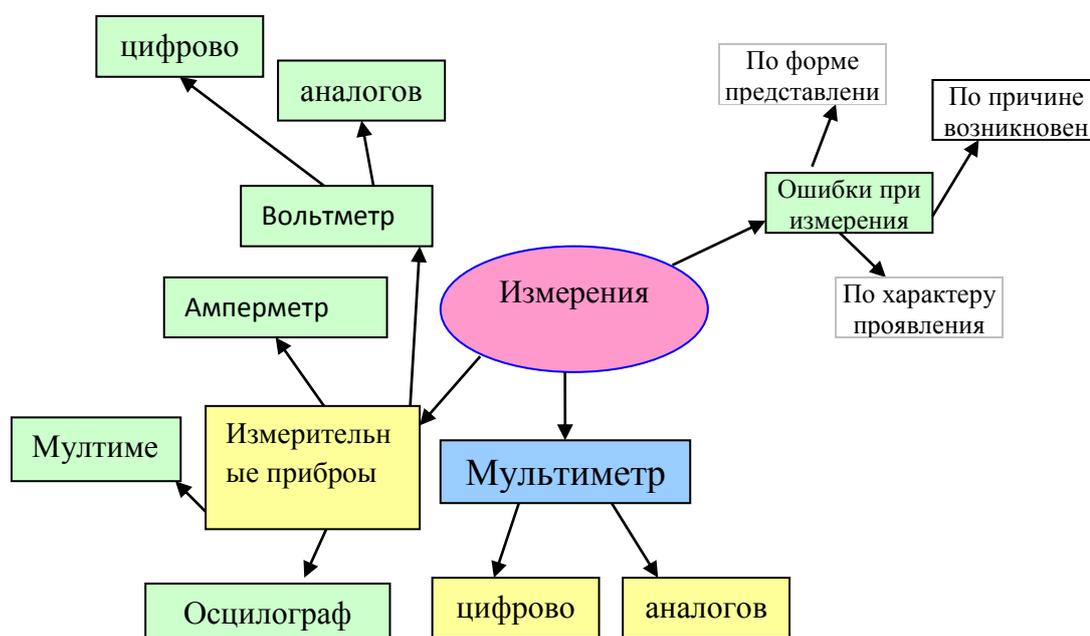
## II. ИНТЕРАКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МОДУЛЕ

### Техника КЛАСТЕР



### Правила составления кластера

1. Записывайте все, что приходит вам на ум. Не судите о качестве идей: просто записывайте их.
2. Не обращайте внимания на орфографию и другие факторы, сдерживающие письмо.
3. Не переставайте писать, пока не закончится отведенное время. Если идеи вдруг перестанут приходить вам на ум, то порисуйте на бумаге, пока у вас не появятся новые идеи.
4. Постарайтесь построить как можно больше связей. Не ограничивайте количество идей, их поток исвязи между ними.



## Метод «Мозговая атака» («Мозговой штурм»)

«Мозговая атака», «мозговой штурм» – это метод, при котором принимается любой ответ обучающегося на заданный вопрос. Важно не давать оценку высказываемым точкам зрения сразу, а принимать все и записывать мнение каждого на доске или листе бумаги. Участники должны знать, что от них не требуется обоснований или объяснений ответов.

«Мозговая атака» является эффективным методом при необходимости:

обсуждения спорных вопросов, стимулирования неуверенных обучаемых для принятия участия в обсуждении, сбора большого количества идей в течение короткого периода времени, выяснения информированности или подготовленности аудитории. Можно применять эту форму работы для получения обратной связи.

«Мозговой штурм» – это простой способ генерирования идей для разрешения проблемы. Во время мозгового штурма участники свободно обмениваются идеями по мере их возникновения, таким образом, что каждый может развивать чужие идеи.

**Цель:** выявление информированности или подготовленности аудитории в течение короткого периода времени

**Задачи:**

- формирование общего представления об уровне владения знаниями у слушателей, актуальными для занятия;
- развитие коммуникативных навыков (навыков общения).

**Методика проведения:**

1. Задать участникам определенную тему или вопрос для обсуждения.
2. Предложить высказать свои мысли по этому поводу.
3. Записывать все прозвучавшие высказывания (принимать их все без возражений). Допускаются уточнения высказываний, если они кажутся вам неясными (в любом случае записывайте идею так, как она прозвучала из уст участника).
4. Когда все идеи и суждения высказаны, нужно повторить, какое было дано задание, и перечислить все, что записано вами со слов участников.
5. Завершить работу, спросив участников, какие, по их мнению, выводы можно сделать из получившихся результатов и как это может быть связано с темой тренинга.

После завершения «мозговой атаки» (которая не должна занимать много времени, в среднем 4-5 минут), необходимо обсудить все варианты ответов, выбрать главные и второстепенные.

## Применения метода Мозгового штурма к теме:

1. Какой формальный термин используется для названия наклона этой линии?
- 2.) Какой контроль используется для установки наклона во время калибровки: «ноль» или «диапазон»?
3. Преобразователь имеет выходное сопротивление 1,2 МОм. Каково должно быть минимальное входное сопротивление предусилителя, соединенного с преобразователем, для передачи не менее 95% напряжения сигнала на вход предусилителя?

### Таблица Инсерт



### Таблица Инсерт

<b>V</b>	<b>+</b>	<b>–</b>	<b>?</b>

### Применения метода к теме:

V	+	–	?
<p style="text-align: center;"><b>Нулевой метод</b></p> <p>- прямое сравнение; - никакой нагрузки; может быть относительно медленным</p>	<p>Соотношение между полезным и нежелательными сигналами называется <b>отношением сигнал/шум</b> или <b>SNR</b> (<i>signaltoNoiseRatio</i> — <i>SNR</i>обычно выражается в децибелах</p>	<p style="text-align: center;"><b>Метод отклонения</b></p> <p>- косвенное сравнение; - отклонение от нуля до тех пор, пока не будет достигнуто состояние равновесия; - ограничен в во производительности и точности; - нагружающий (сам преобразователь забирает определенное количество энергии от измеряемой системы); - относительно быстрый.</p>	<p>Преобразование Фурье, или разбивка сигнала на компонентные частоты, очень важно при рассмотрении процесса фильтрации и преобразования аналогового сигнала в цифровой.</p>
<p>Влажность. Изменение сопротивления в зависимости от изменения влажности материала</p>	<p>Давление. Движение конца охлажденной трубки в зависимости от изменения давления</p>	<p>Электрическое напряжение.  Вращение катушки в магнитном поле</p>	<p>Радиоактивность. Электрические импульсы, возникающие в результате ионизации газа при низком давлении</p>

### III. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

#### 1-тема: Преобразователи. Измерительные системы

**План:**

1. Преобразователи
2. Измерительные системы

**Ключевые слова:** Измерительная система, методы измерения, нулевой метод, шумовым порог, ошибка диапазона, преобразование Фурье

#### 1.1 Преобразователи

Измерительная система связана с представлением одного физического явления другим. Цель измерительной системы — измерение и управление физической системой.



Наиболее интересны физические свойства и рабочие характеристики преобразователей. Ниже даны несколько примеров.

<b>Свойство</b>	<b>Метод измерения</b>
Усилие	Тензометр, резистивный преобразователь, в котором сопротивление изменяется в зависимости от изменения его длины
Температура	Терморезистор, термопара, термистор, термостолбик
Влажность	Изменение сопротивления в зависимости от изменения влажности материала
Давление	Движение конца охлажденной трубки в зависимости от изменения давления
Электрическое напряжение	Вращение катушки в магнитном поле
Радиоактивность	Электрические импульсы, возникающие в результате ионизации газа при низком давлении
Магнитное поле	Отклонение проводника из-за проходящего в нем тока

<b>Рабочие характеристики</b>		
<p style="text-align: center;"><b>Статические</b></p> <p>Чувствительность</p> <p>Нулевая точка</p> <p>Линейность</p> <p>Диапазон</p> <p>Разрешающая способность</p> <p>Порог</p> <p>Гистерезис</p> <p>Воспроизводимость</p>	<p style="text-align: center;"><b>Динамические</b></p> <p>Время отклика</p> <p>Затухание</p> <p>Собственная частота</p> <p>Частота отклика</p>	<p style="text-align: center;"><b>Внешние</b></p> <p>Диапазон рабочих температур</p> <p>Ориентация</p> <p>Вибрация/удар</p>

Рассмотрение этих характеристик влияет на выбор преобразователя для конкретного применения. Другими характеристиками, которые зачастую важны, являются срок службы, срок годности при хранении, требования к потребляемой энергии и вопросы безопасности прибора, а также стоимость и ремонтпригодность<sup>1</sup>.

В промышленности измеряемое или контролируемое свойство называется **контролируемым параметром**. **Управление технологическим про-**

<sup>1</sup> A.C. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002 – 4 p.

**цессом** представляет собой процедуру, используемую для измерения этого параметра, и управление им в пределах допустимого уровня от **заданного значения**. Контролируемый параметр является одним из нескольких параметров процесса и измеряется с помощью **преобразователя** и управляется с помощью **привода**.

## 1.2 Измерительные системы

### Методы измерения

Все измерения строятся на сравнении между измеряемым количеством и опорной стандартной величиной. Существуют два фундаментальных метода измерения. **Нулевой метод** (рис. 1.1):

- прямое сравнение;
- никакой нагрузки;
- может быть относительно медленным.

Неизвестный компонент вставляется в электроизмерительный мост, и значения других меняются для достижения состояния равновесия.

$$R_1 R_4 = \frac{L_u}{C_3}$$

При равновесии ток через гальванометр отсутствует

$$\frac{R_1}{C_4} = \frac{R_u}{C_3}$$

**Метод отклонения** (рис. 1.2):

- косвенное сравнение;
- отклонение от нуля до тех пор, пока не будет достигнуто состояние равновесия;
- ограничен в воспроизводимости и точности;
- нагружающий (сам преобразователь забирает определенное количество энергии от измеряемой системы);
- относительно быстрый.

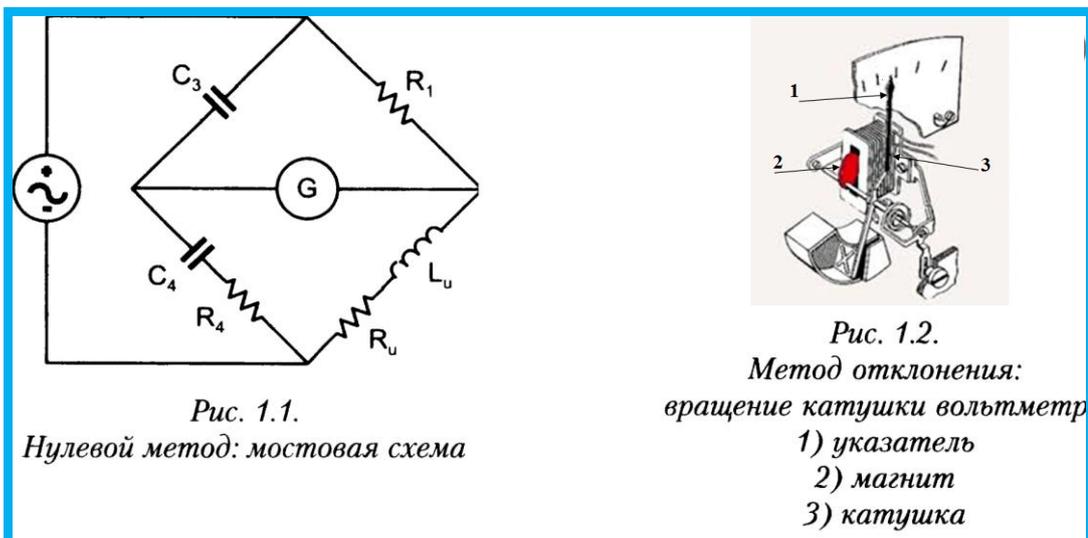


Рис. 1.1.  
Нулевой метод: мостовая схема

Рис. 1.2.  
Метод отклонения:  
вращение катушки вольтметр  
1) указатель  
2) магнит  
3) катушка

Хотя такой счетчик предназначен для очень высокого внутреннего сопротивления, ему приходится забрать некоторое количество тока из из-

меряемой цепи с тем, чтобы вызвать отклонение указателя. Это может повлиять на работу самой цепи и привести к неточным показаниям — особенно если выходное сопротивление измеряемого источника напряжения велико.

### Чувствительность

Важным параметром каждого преобразователя является его чувствительность.

Это есть мера величины выхода, деленная на величину входа.

$$\text{Чувствительность} = \frac{\text{выходной сигнал}}{\text{входной сигнал}} = \frac{dO}{dI}$$

Например. Чувствительность термопары может быть определена как 10 мкВ/°С, указывая, что при каждом изменении температуры на градус между датчиком и «опорной» температурой выходной сигнал меняется на 10 мкВ. Эта чувствительность может и не быть постоянной по всему рабочему диапазону.

Выходное напряжение большинства преобразователей находится в милливольтном диапазоне для использования в лабораториях и в сравнительно легких промышленных условиях. Для высокотяжелых промышленных условий эксплуатации, выход обычно делают токовым, а не напряжением. Такие устройства обычно называют «**трансммиттерами**», а не преобразователями.

В большинстве случаев велика вероятность того, что сигнал, выдаваемый преобразователем, содержит шум или нежелательную информацию. Соотношение между полезным и нежелательными сигналами называется **отношением сигнал/шум** или *SNR* (*signaltoNoiseRatio* — *SNR* обычно выражается в децибелах) <sup>2</sup>.

Чем выше это соотношение, тем лучше. В электронной аппаратуре шумовые сигналы часто возникают из-за случайного теплового движения электронов, и называется это белым шумом. Белый шум возникает на всех частотах.

Напряжение сигнала

$$SNR = 20 \log_{10} \left| \frac{V_s}{V_n} \right|$$

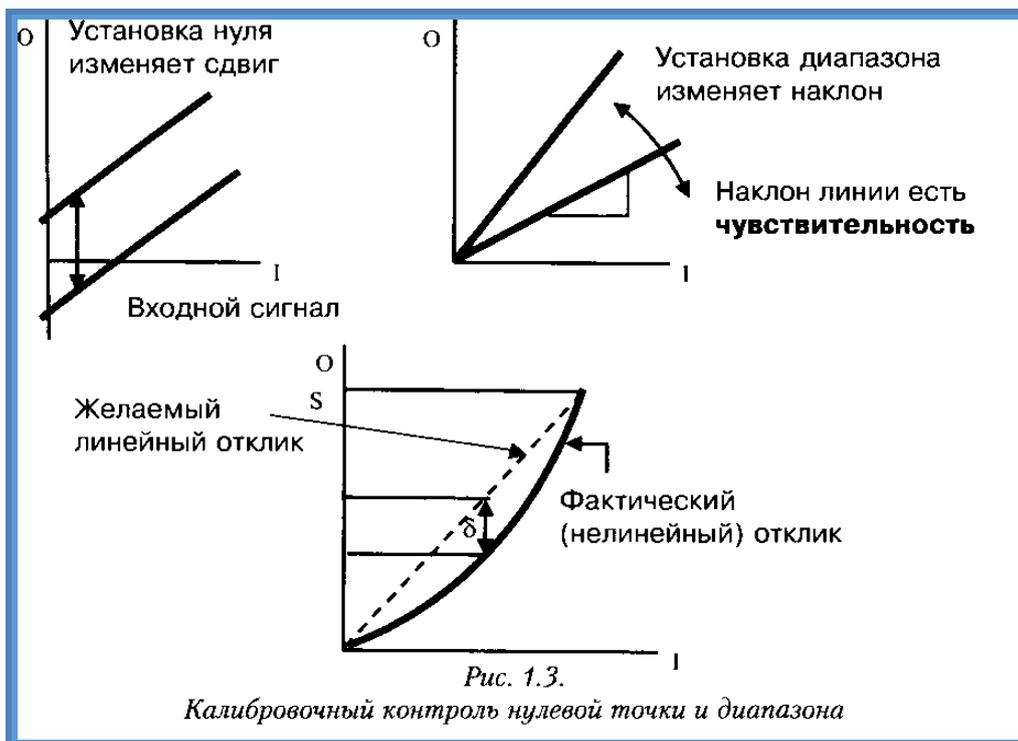
Напряжение шума

Первая стадия любого усиления сигнала является самой критичной, когда необходимо учитывать шумы. В наиболее чувствительных приборах предусилитель вплотную подсоединяется к преобразователю для того,

---

<sup>2</sup> А.С. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002.— 6 р.





Процентное выражение **нелинейности** описывает отклонение от линейной зависимости между входом и выходом.

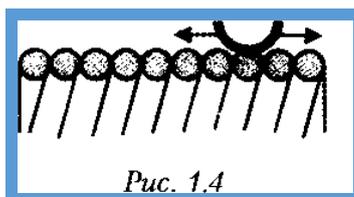
$$\text{Максимальная нелинейность} = \frac{\delta}{S} \times 100$$

Линейный выход можно получить, используя градуировочную таблицу или изменив выходной сигнал последующей электронной обработкой.

Ошибки при **установке нулевой точки** могут возникнуть из-за ошибок калибровки, изменений или старения датчика, изменений в окружающей среде и т. д. Ошибка является постоянной во всем диапазоне работы прибора. Ошибка в чувствительности, или **ошибка диапазона**, приводит к тому, что выход будет отличаться от истинной величины на некоторую константу в процентах, т.е. ошибка пропорциональна величине выходного сигнала (изменение в наклоне).

### Разрешающая способность, гистерезис и ошибка

Постоянное увеличение входного сигнала иногда приводит к последовательности дискретных шагов в выходном сигнале благодаря природе преобразователя.



Например: провод в обмотке потенциометра используется в качестве преобразователя положения. Контактная щетка движется по обмотке,

привнося пошаговое изменение в сопротивление (Родного оборота) с изменением расстояния.

**Разрешающая способность** преобразователя определяется как размер шага, деленного на полное отклонение ( $gsd$ ) или величину диапазона, и выражается в %.

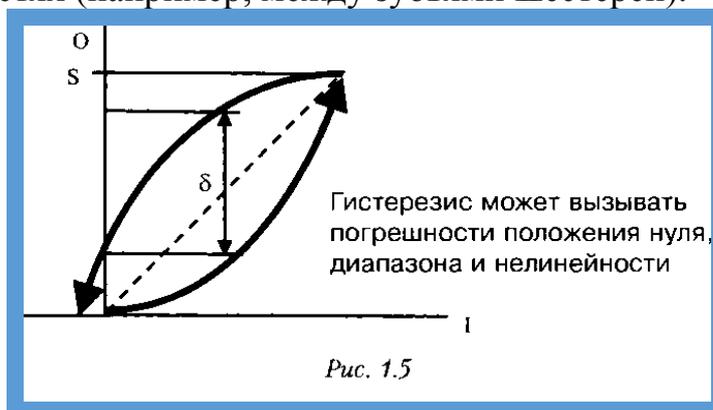
$$\text{Разрешающая способность} = \frac{\delta O}{S}$$

Например: разрешающая способность потенциометра в 100 оборотов — 1/100-1%

Для отдельного входного сигнала величина выходного сигнала может зависеть от того, увеличивается или уменьшается входной сигнал. Это называется гистерезисом<sup>3</sup>.

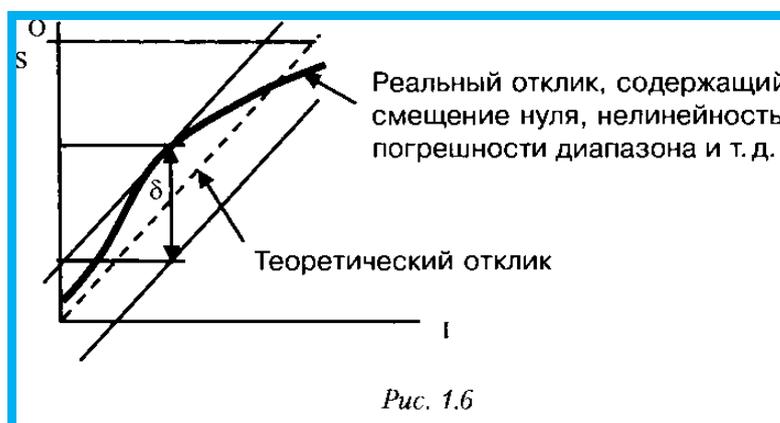
$$\text{Максимальный гистерезис} = \frac{\delta}{S} \times 100$$

В механических системах гистерезис обычно происходит из-за зазора в движущихся частях (например, между зубьями шестерен).



Общий отклик преобразователя обычно дается ошибкой в процентах.

$$\text{Ошибка} = \frac{\delta}{S} \times 100$$

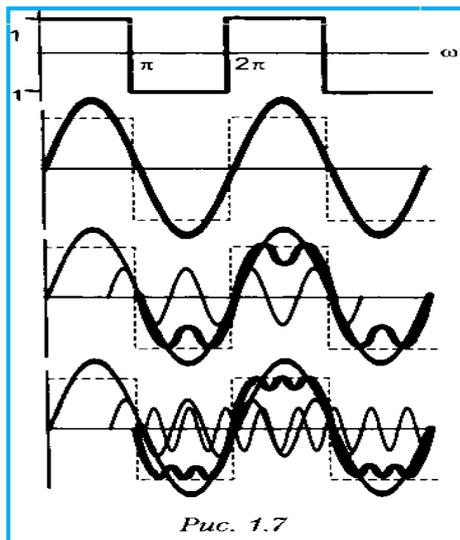


<sup>3</sup> А.С. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002.— 8 p.

## Преобразование Фурье

Аналоговые входные сигналы, которые требуют использования цифро-аналогового преобразователя, как правило, содержат множества синусоид с разными частотами. Реальные сигналы обычно представляют собой набор амплитуд и частот, которые изменяются со временем. Такие сигналы можно разбить на компонентные частоты и амплитуды, используя метод, называемый преобразованием Фурье. Преобразование Фурье базируется на том, что любой периодический сигнал, какой бы сложной он ни был, можно представить как суперпозицию синусоидальных волн соответствующей частоты и амплитуды<sup>4</sup>.

Например, прямоугольный сигнал можно представить



$$y = \left[ \frac{4}{\pi} \sin \omega t + \frac{4}{3\pi} \sin 3\omega t + \frac{4}{5\pi} \sin 5\omega t + \dots \right]$$

Амплитуда                      Частота  
компонент                      компонент

Преобразование Фурье, или разбивка сигнала на компонентные частоты, очень важно при рассмотрении процесса фильтрации и преобразования аналогового сигнала в цифровой.

<sup>4</sup> A.C. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002.– 9 p.

$$y = \frac{4}{\pi} \sin \omega t$$

$$y = \left[ \frac{4}{\pi} \sin \omega t + \frac{4}{3\pi} \sin 3\omega t \right]$$

$$y = \left[ \frac{4}{\pi} \sin \omega t + \frac{4}{3\pi} \sin 3\omega t + \frac{4}{5\pi} \sin 5\omega t \right]$$

**Динамический отклик преобразователя связан с возможностью выхода реагировать на изменения на входе. Самый жесткий тест динамического отклика заключается в подаче на вход ступенчатого сигнала и измерении временного отклика на выходе.**

**Различные формы выходных сигналов**

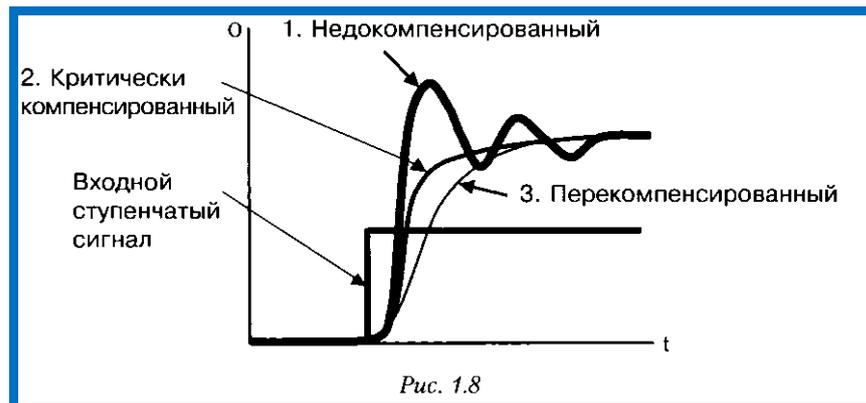


Рис. 1.8

Следующие параметры представляют особый интерес:

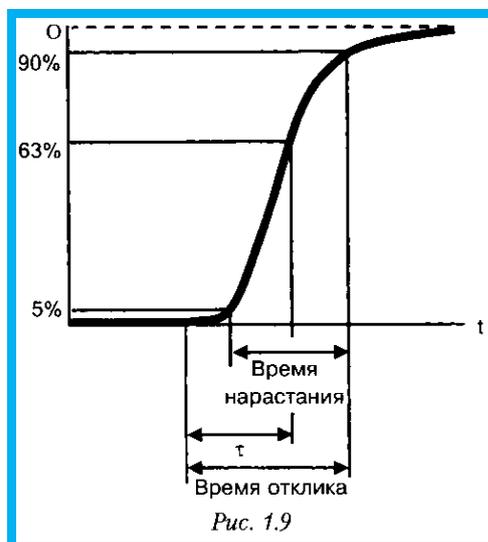
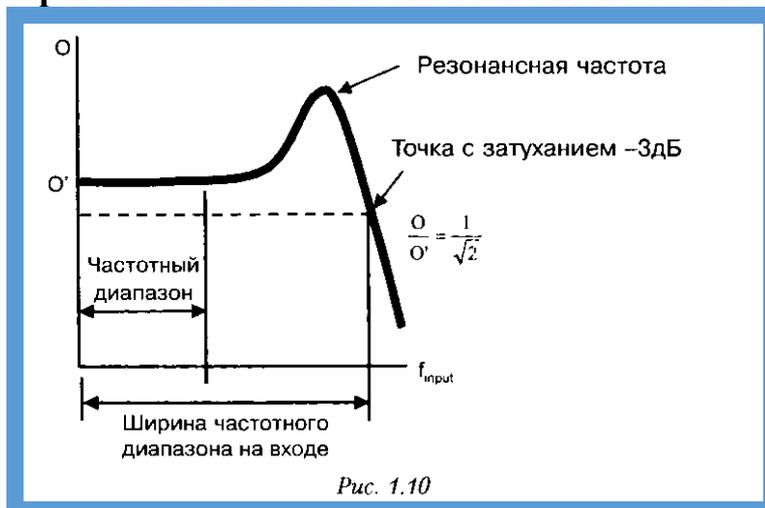


Рис. 1.9

- **время нарастания;**

- **время отклика;**

- **постоянная времени  $t$ .** Ступенчатый сигнал на входе вынуждает преобразователь реагировать на бесконечное количество компонентных частот. Когда вход изменяется синусоидально, амплитуда выходного сигнала может изменяться в зависимости от частоты на входе, если частота на входе близка к **резонансной частоте** системы. Если частота



на входе выше, чем резонансная частота, тогда преобразователь не успевает за быстроменяющимся сигналом на входе и в результате сигнал на выходе уменьшается.

### ***PID* контроль**

Во многих системах для управления желаемым параметром используется **контур системы регулирования с обратной связью**. Например, термостат может быть использован вместе с электрическим нагревательным элементом для поддержания температуры в печи. Такой контур системы регулирования состоит из датчика, выход с которого является управляющим входным сигналом для привода<sup>5</sup>.

Разница между заданным значением и текущим значением контролируемого параметра является сигналом ошибки  $Ae$ . Если ошибка больше определенного допустимого значения, или **размаха ошибки**, тогда **корректирующий сигнал**, положительный или отрицательный, подается на привод, чтобы добиться уменьшения ошибки. В сложных системах сигнал ошибки обрабатывается *PID* контроллером до того, как сигнал коррекции будет подан на привод. *PID* контроллер определяет величину и тип сигнала коррекции, который должен быть подан на привод для снижения сигнала ошибки.

Характеристики *PID* контроллера выражаются в значениях приращений. Сигнал коррекции  $0$  от *PID* контроллера равен сумме ошибки  $Ae$ ,

<sup>5</sup> A.C. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002.—11 p.

умноженной на коэффициент усиления  $K_p$ , интегрального усиления  $K_i$  и дифференциального усиления  $K_d$ .

$$O(t) = K_p \Delta e + K_i \int \Delta e dt + K_d \frac{d\Delta e}{dt}$$

- **Пропорциональный** член заставляет контроллер генерировать сигнал на привод, амплитуда которого пропорциональна величине ошибки, т. е. проводится большая по величине коррекция для того, чтобы откорректировать ошибку

- **Интегральный** член используется чтобы отклонить привод в конечное состояние для того, чтобы преодолеть трение, или гистерезис, в системе. Это долгосрочная коррекция позволяет системе вернуться к заданной величине.

- **Дифференциальный** сигнал вырабатывает затухающий отклик, который уменьшает осцилляцию. Величина дифференциальной коррекции зависит от скорости изменения величины сигнала ошибки. Если сигнал меняется быстро, производится большая коррекция.



Рис. 1.11

*PID* коррекция влияет на сигнал ошибки, который сам является функцией времени. Например, в **сервоконтроле движения** *PID* контроллер способен вызвать ускорение движущегося тела (например, рука робота), поддерживать постоянную скорость и замедлять до заданного положения.

### **Точность и воспроизводимость**

Точность — количественный показатель о близости измеряемого значения к его **истинной величине**.



*Рис. 1.12.*

*Килограмм — это единица массы и равняется массе международного эталона, хранящегося в Париже*

Существует разница между понятиями **точности** и **прецизионности** физических измерений.

Высокая точность не обязательно сопровождается высокой прецизионностью<sup>6</sup>.

Точность измеряется стандартным отклонением нескольких измерений. Высокая прецизионность измерений может также сопровождаться широким **разбросом** в показаниях измерений, ведущим к низкой точности.

+ + †  
+ +



**Истинная величина**

Высокая точность Низкая прецизионность

Такое состояние может быть вызвано **систематической ошибкой** в измерительной системе (например, смещение нуля).

---

<sup>6</sup> A.C. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002.- 12 p.



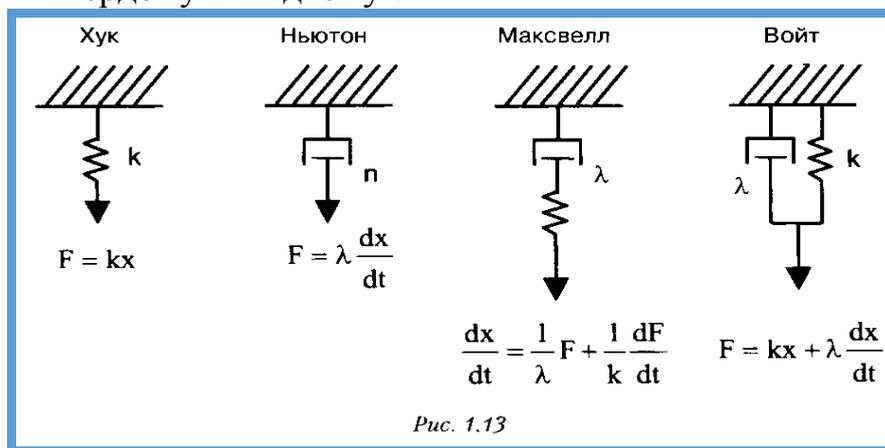
Низкая точность Высокая прецизионность  
 Такое состояние может быть вызвано **случайной ошибкой** в измерительной системе



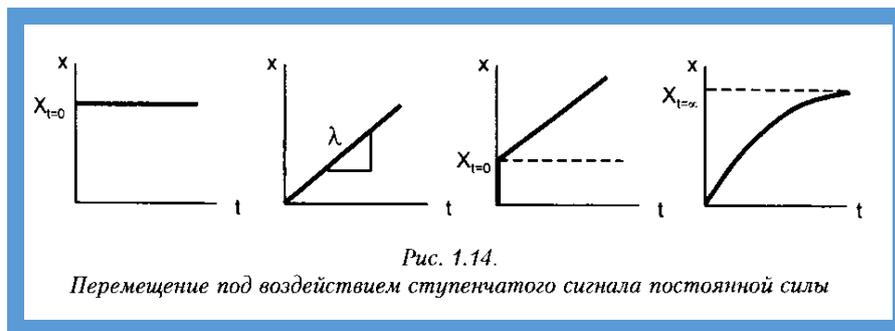
Высокая точность Высокая прецизионность

### Механические модели

Отклик материалов и систем часто можно смоделировать пружинами и демпферами. Это позволяет легко смоделировать математически как статические, так и динамические процессы. Большинство материалов обладают механическими свойствами, которые присущи двум крайним состояниям — твердому и жидкому<sup>7</sup>.



<sup>7</sup> А.С. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002. – 13 p.



Пружинам представляют «твердые» характеристики системы. Демпфера заменяют «жидкие» характеристики системы.

### Контрольные вопросы:

1. У вращающейся катушки гальванометра последовательное сопротивление  $R_m = 120$  Ом и полное отклонение при  $2,5$  мкА. Шкала дисплея поделена на 100 равных делений. Датчик должен быть использован в качестве вольтметра, чтобы измерить ЭДС от источника в  $3,0$  В, у которого выходное сопротивление  $R_0$  равно  $1,5$  кОм.

а) Определите сопротивление  $R_s$ , необходимое для подсоединения последовательное гальванометром, чтобы получить диапазон измерения вольтметра  $0-5$  В.

б) Определите неопределенность в измеряемой величине для вышеуказанного источника ЭДС в зависимости от разрешающей способности шкалы дисплея.

в) Определите показания вольтметра, когда он подсоединен непосредственно к источнику напряжения  $3,0$  В.

2. Инфракрасный газовый анализатор используется для измерения концентрации окиси углерода (СО) в выхлопных газах транспортного средства. До начала измерения подается очищенный воздух, не содержащий окиси углерода, и на выходном дисплее устанавливается  $0$  мВ. Затем калиброванная смесь СО в воздухе с концентрацией  $400$  ppm и диапазон измерений устанавливаются таким образом, чтобы на выходе получить  $400$  мВ. Выхлопной газ затем отбирается прибором, показание которого при этом равно  $350$  мВ. После обнаруживается, что концентрация этой калиброванной смеси была ошибочной и должна была быть равной  $410$  ppm. Предположив, что отклик прибора линейный, определите скорректированную величину для измеряемой концентрации.

3. На диаграмме указан выход линейного преобразователя как функция его входа.



а) Какой формальный термин используется для названия наклона этой линии?

б) Какой контроль используется для установки наклона во время калибровки: «ноль» или «диапазон»?

А. Перечислите три статические, три динамические и три внешние рабочие характеристики, которые могут повлиять на выбор преобразователя для его конкретного использования.

5. Демпфер и пружину при параллельном соединении (модель Войта) можно представить резистором ( $k$  становится  $R$ ) и индуктивностью (л становится индуктивностью  $L$ ) при последовательном соединении. Если применяемую силу заменить напряжением и результирующую деформацию заменить током, покажите, что величина приложенной силы и величина перемещения соотносятся как:

$$|F| = \sqrt{k^2 + \omega^2 \lambda^2} |x|$$

### Использованные литературы:

1. A.C. Fischer-Cripps. *Newnes Interfacing Companion*. First published 2002. – 295 p.
2. А.С.Фишер-Криппс. Интерфейсы измерительных систем. Издательский дом “Технологии” М.: 2006. 334 с.
3. R.M. Bertrand, "Programmable Controller Circuits, International Thomson Publishing. 1995.
4. H.B. Boyle, D. Page. "Transducer Handbook: User's Directory of Electrical Transducers." Butterworth-Heinemann. 1999.
5. W. Buchanan. "Applied PC Interfacing: Graphics and Interrupts." Addison Wesley Longman, Inc. 1996.
6. F.M. Cady. "Microcontrollers and Microcomputers: Principles of software and hardware engineering," Oxford University Press, 1997.
7. D. Crecraft. S. Gergely. "Analog Electronics Circuits. Systems and Signal Processing." Butterworth-Heinemann. 2002.
8. A.J. Diefenderfer, B.E. Holton, "Principles of Electronic Instrumentation." 3rd Ed.. International Thomson Publishing. 1994.
9. M. Ehvenspoek. R. J. Wiegennk. "Mechanical Microsensors." Springer-Verlag NY, 2000.
10. D.R. Gitlum. 'Industrial Pressure, Level and Density Measurement,' ISA. 1995.

## 2-тема: Цифровая обработка сигналов

### План:

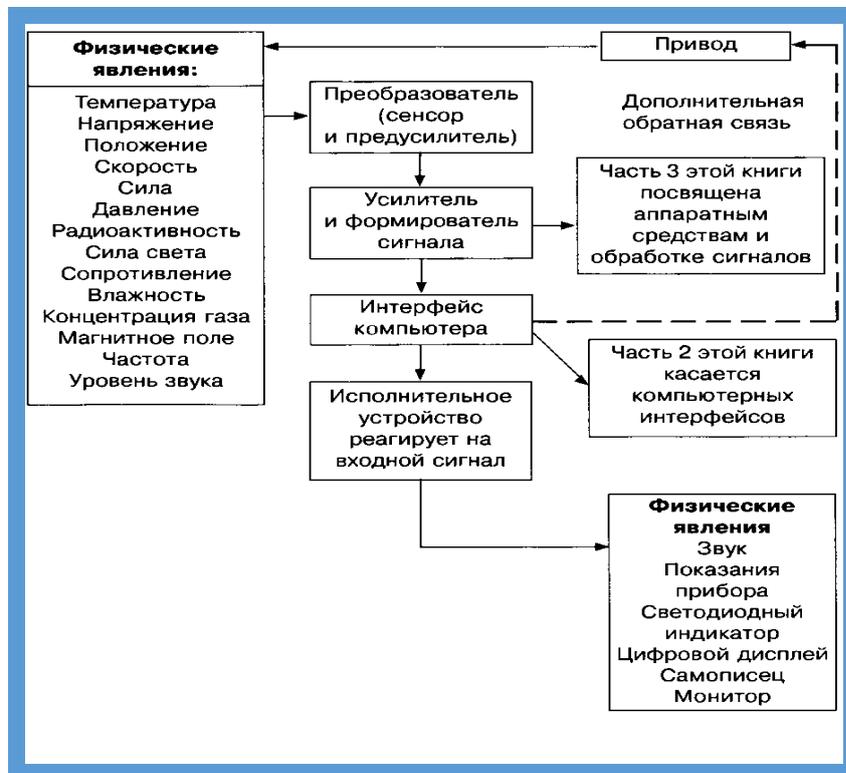
1. Обработка сигналов

2. Передаточная функция
3. Активные фильтры
4. Инструментальный усилитель
5. Шумы

**Ключевые слова:** операционная счисления, фильтры, дифференциальный усилитель, тепловой шум, дробовый шум.

## 2.1 Обработка сигналов

Сигналы от преобразователя обычно имеют очень малый размах. Для подготовки сигналов для передачи по интерфейсу в компьютер они должны быть усилены до приемлемого уровня и отфильтрованы для исключения нежелательного шума. Этот процесс называется обработкой сигнала<sup>8</sup>.



<sup>8</sup> A.C. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002. – 212 p.

## 2.2 Передаточная функция

### Инструментальные средства

Инструментальные средства обеспечивают формирование из сигнала преобразователя выходного сигнала, пригодного для измерения. Это обычно достигается применением нескольких ступеней обработки сигнала, начиная с сигнала преобразователя или входа  $Q$ .

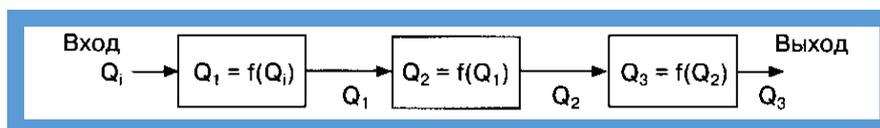


Рис. 3.1

Желательно иметь линейную зависимость между входной и выходной величиной для различных процессов, так чтобы  $(2z = K_x K_2 K^{\wedge}$ . На практике полезный сигнал преобразуется в каждом каскаде вместе с ошибками и сопутствующим шумом. Задача инструментальных средств состоит в максимальной передаче сигнала и минимизации ошибок и шума. Процесс обработки сигналов связан с:

- электрической природой сигналов и методами их измерений
- преобразованием сигнала за счет применения передаточной функции для обеспечения усиления и фильтрации шумов
- источниками и природой шумов в составе сигнала
- восстановлением сигнала — фильтрацией, усреднением, сглаживанием и т. д.

Важным моментом в подключении преобразователя к предусилителю является обеспечение передачи максимальной энергии сигнала предусилителю с помощью процесса, называемого согласованием импедансов.

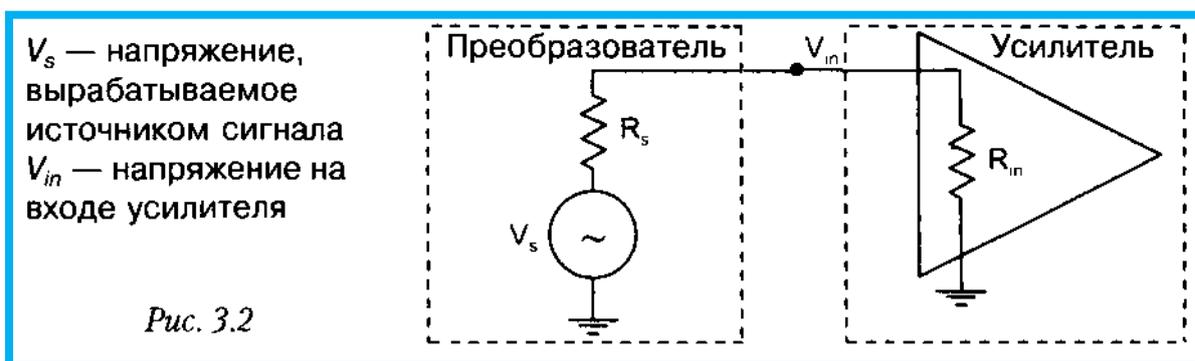
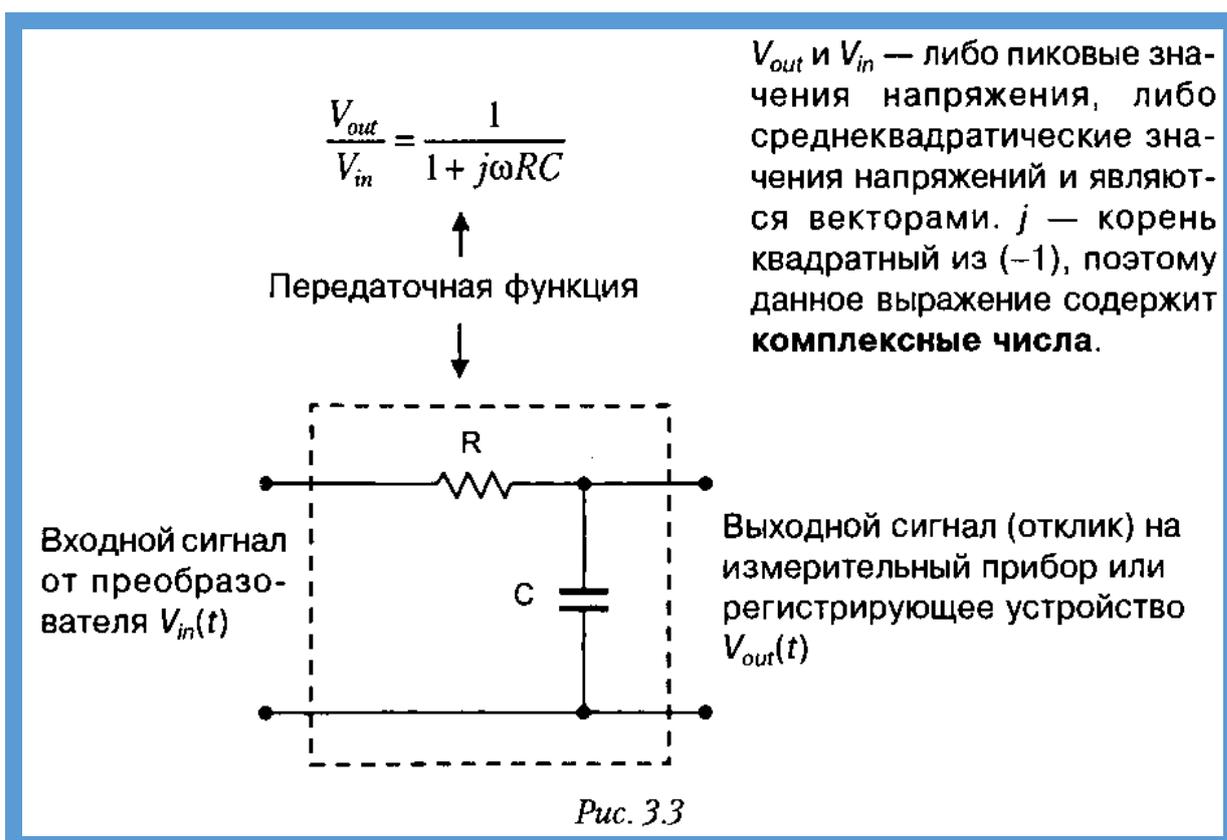


Рис. 3.2

В идеальном случае входное сопротивление усилителя  $R_{in}$  много больше выходного сопротивления источника сигнала  $R_s$ , потому что в противном случае на входе усилителя возникает незначительное напряжение  $V_{in}$ . Так, если  $R_s \gg R_{in}$ , то большая часть напряжения падает на  $R_s$  а не на

входе усилителя. Усилители должны иметь высокий входной импеданс  $R_{in}$  по отношению к  $R_s$  — выходному сопротивлению источника сигнала.

Существует определенная зависимость между входным сигналом  $S(t)$  и выходным сигналом  $R(t)$  электронной схемы. Такая зависимость называется передаточной функцией данной электронной схемы. Передаточная функция — это зависимость выходного напряжения от входного. Это общее описание схемы, включающее в себя любые фазовые эффекты, которые могут возникать в ней. Например, для простого  $RC$ -фильтра нижних частот, приведенного ниже, передаточная функция будет выглядеть так:



Позже мы увидим, как может быть получена передаточная функция для различных схем (в основном схем фильтров) с помощью операционного счисления. Передаточная функция конкретной схемы фильтра используется для изменения измеряемого сигнала с целью уменьшения шумов (т.е. нежелательной информации). Математическое представление передаточной функции позволяет проанализировать эффективность различных фильтров и усилителей и разработать их прежде, чем будет собрана какая-то конкретная схема<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> A.C. Fischer-Cripps. *Newnes Interfacing Companion*. An imprint of Elsevier Science 2002. — 215 p.

## Преобразования

Большинство физических явлений может быть описано с помощью дифференциальных уравнений, то есть уравнений, содержащих производную. Кратчайшим способом записи «производная функции по аргументу» является применение оператора производной. Например:

$$\frac{dy}{dx} = Dy \text{ и } \frac{d^2y}{dx^2} = D^2y,$$

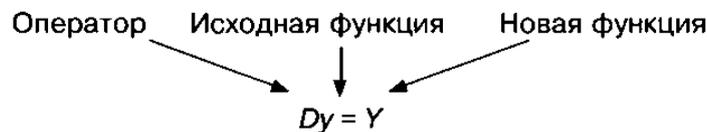
где  $D$  — это оператор производной, который, будучи применен к функции  $y(x)$ , дает новую функцию от  $x$ . Оператор производной может быть комплексным и включать в себя производные высших порядков. Например:

$$D = a_0 \frac{d^4}{dx^4} + a_1 \frac{d^3}{dx^3} + a_2 \frac{d^2}{dx^2} + a_3 \frac{d}{dx} + a_4, \text{ где } a_n \text{ — константы,}$$

и тогда

$$Dy = a_0 \frac{d^4y}{dx^4} + a_1 \frac{d^3y}{dx^3} + a_2 \frac{d^2y}{dx^2} + a_3 \frac{dy}{dx} + a_4y$$

После применения оператора к исходной функции возникает новая функция. Таким образом, исходная функция **преобразуется** в другую функцию.



Оператор производной широко используется для записи разных типов дифференциальных уравнений. Другим типом преобразования является оператор интегрального преобразования  $\Gamma$ , который имеет следующую форму:

$$T[f(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)K(s,t)dt = F(s), \text{ } F(s) \text{ является изображением функции } f(t),$$

где  $f$  — функция от  $t$  которая преобразуется с помощью оператора  $T$ .  $K$  — функция переменных  $s$  и  $t$ . Интегрирование порождает новую функцию только переменной  $s$ , которая является интегральным преобразованием исходной функции  $f(t)$ . Функция  $K(s,t)$  может принимать множество форм, среди которых особенно интересна одна, которая определяется как:

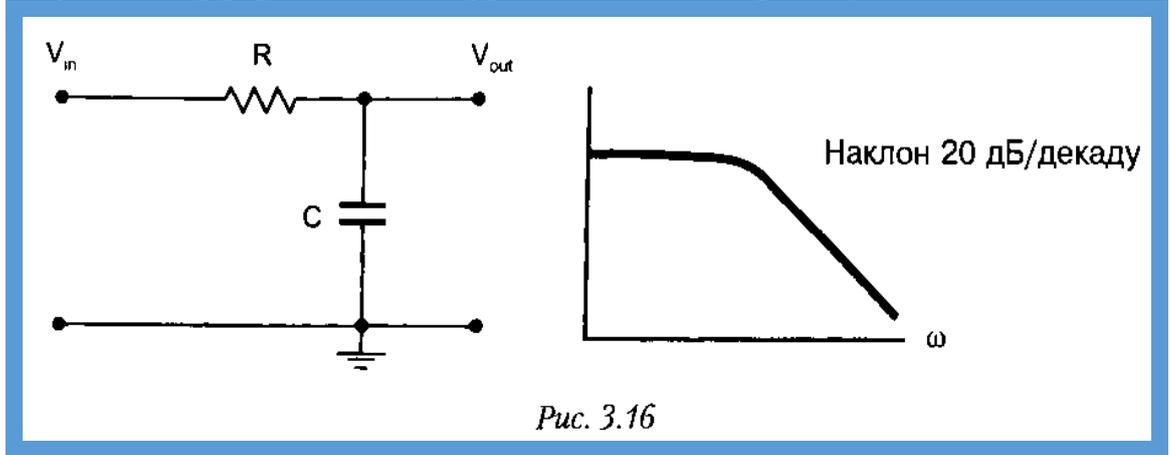
$$K(s,t) = \begin{cases} = 0, & t < 0 \\ = e^{-st}, & t \geq 0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{Полученное в результате интегрального преоб-} \\ \text{разование называется преобразованием Лапласа } L[f(t)] \text{ функции } f(t). \end{array}$$

## 2.3 Активные фильтры

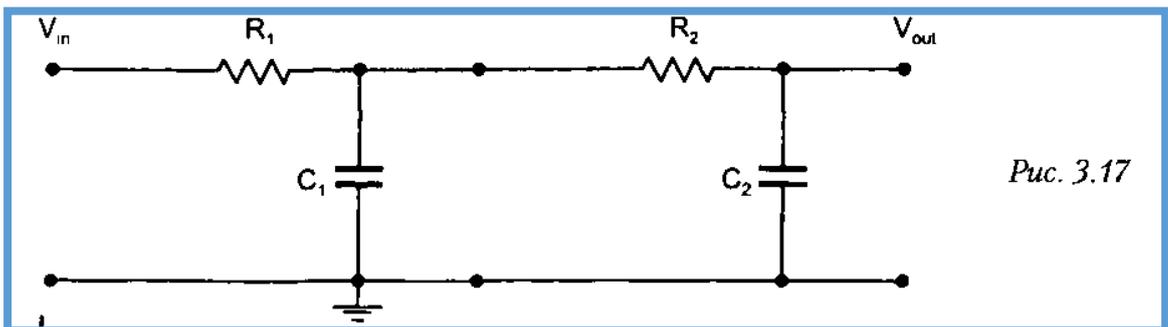
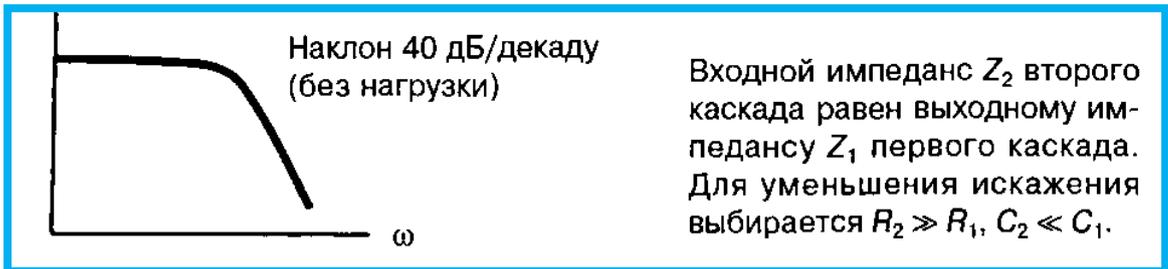
### Фильтры

Пассивные фильтры-схемы RLC фильтров

Фильтр 1-го порядка (для математического описания данного фильтра используется дифференциальное уравнение 1-го порядка)<sup>10</sup>.



Два фильтра 1-го порядка, включенных последовательно, образуют фильтр 2-го порядка:



### Активные фильтры — схемы с операционным усилителем

<sup>10</sup> A.C. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002. – 228 p.

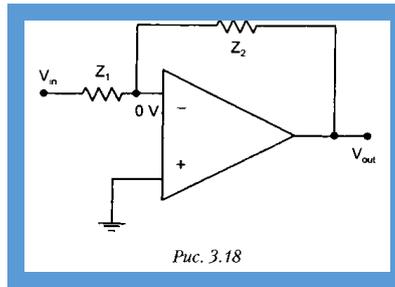


Рис. 3.18

Преимущества:

- может содержать усиление
  - нагрузка не является большой проблемой
  - возможность каскадирования фильтров для получения фильтров 2-го порядка
  - нет необходимости применения катушек индуктивности (которые дороги, требуют больших токов, генерируют обратные ЭДС)
- настройка фильтров может производиться путем изменения номиналов резисторов

## 2.4 Инструментальный усилитель

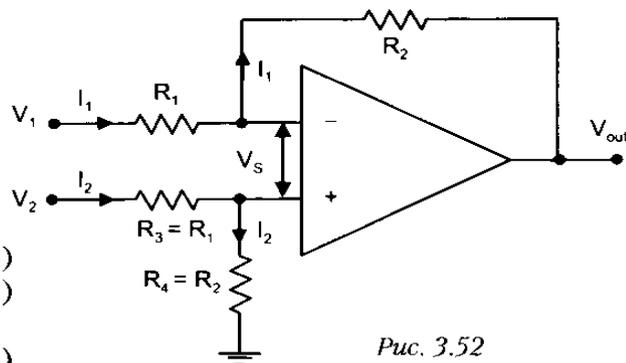


Рис. 3.52

$$V_s = 0$$

$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 R_2 + V_{out} \quad (1)$$

$$V_2 = I_2 R_1 + I_2 R_2 \quad (2)$$

$$V_1 = I_1 R_1 + V_s + I_2 R_2$$

$$= I_1 R_1 + I_2 R_2 \quad (3)$$

Примечание: инвертирующий вход операционного усилителя в данной схеме не является мнимой землей (0 В). Внутреннее входное сопротивление операционного усилителя составляет несколько Мом, но поскольку входной ток смещения имеет порядок нА, то можно считать  $V_s = 0$ , и поэтому напряжение на инвертирующем входе равно  $I_2 R_2$ .

Из выражения (1)

$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 R_2 + V_{out}$$

$$V_1 - V_{out} = I_1 R_1 + I_1 R_2$$

$$I_1 = \frac{V_1 - V_{out}}{R_1 + R_2}$$

подставляем в выражение (3)

$$V_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2 = \frac{(V_1 - V_{out})}{R_1 + R_2} R_1 + \frac{V_2}{R_1 + R_2} R_2$$

$$V_1 (R_1 + R_2) = (V_1 - V_{out}) R_1 + V_2 R_2$$

$$V_1 R_1 + V_2 R_2 = V_1 R_1 - V_{out} R_1 + V_2 R_2$$

$$V_1 R_2 = V_2 R_2 - V_{out} R_1$$

$$(V_1 - V_2) R_2 = -V_{out} R_1$$

$$-V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_1 - V_2)$$

$$A_{ul} = \frac{-V_{out}}{V_1 - V_2} = -\frac{R_2}{R_1} \text{ усиление дифференциального сигнала}$$

из выражения (2)

$$V_2 = I_2 R_1 + I_2 R_2 = I_2 (R_1 + R_2)$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_1 + R_2}$$

## Дифференциальный усилитель

Таким образом, входное сопротивление инвертирующего входа не сбалансированно по отношению к не инвертирующему входу. Если заземлен вход схемы  $V_1$ , то входное сопротивление  $R_{in}$  по входу  $V_2$  составит  $R_1 + R_2$ . Если заземлен вход  $V_2$ , то сопротивление по входу  $V_1$  будет равно  $R_1$  (поэтому при заземленном  $V_2$  инвертирующий вход является виртуальной землей). Это может вызвать проблемы из-за неуравновешенной нагрузки источника сигнала. Для того чтобы обойти это, мы можем разработать входной каскад, используя повторитель напряжения<sup>11</sup>.

### 2.5 Шумы

#### Тепловой шум

Среднеквадратическое значение напряжения теплового шума

$$V_{rms} = [4kTR\Delta f]^{1/2}, \text{ где}$$

$k$  — постоянная Больцмана  $1,38 \times 10^{-23}$  Дж/К,  $T$  — абсолютная температура (в градусах Кельвина),  $R$  — сопротивление, Ом,  $\Delta f$  — полоса частот, Гц.

Например, сопротивление 10 кОм при температуре 300 К в полосе частот 10 кГц имеет среднеквадратическое значение напряжения шумов 1,3 мкВ.

Мощность теплового шума

$$V_n^2 = 4kTR\Delta f; P = \frac{V_n^2}{R} = 4kT\Delta f$$

Мощность теплового шума пропорциональна температуре  $T$  и полосе частот  $\Delta f$ .

Тепловой шум и дробовый шум имеют место на всех частотах и называются белым шумом. Шум может быть уменьшен за счет уменьшения величины любого члена выражения, т. е. за счет уменьшения температуры, сопротивления или полосы частот<sup>12</sup>.

Строго говоря, белый шум — это шум, который имеет равномерное распределение и постоянную плотность мощности во всем диапазоне частот.

**Дробовый шум.** Дробовый шум связан со случайным распределением заряда, проходящего через потенциальный барьер.

- термоионная эмиссия
- контактные потенциалы

<sup>11</sup> A.C. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002. — 247 p.

<sup>12</sup> A.C. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002. — 262 p.

Ток, вызванный шумовыми эффектами

$$i_n^2 = 2eI_s\Delta f, \text{ где}$$

Мощность шумов

$e$  — заряд электрона  $1,6 \times 10^{-19}$  Кл,  $P_n = i_n^2 R = 2\Delta f e i_n R$ , где

$i_s$  — величина постоянного тока, А,  $r$  — сопротивление

$i_n$  — шумовой ток, А А/ — полоса

частот, Гц.

Примечание: вообще шум возрастает с увеличением полосы частот. Шум возникает из-за случайных флуктуации, которые могут вносить существенный вклад в частотные компоненты всего сигнала.

**Фликкер-шум.** Этот тип шумов возрастает с уменьшением частоты и иногда называется шумом  $1/f$ . По этой причине чувствительные к шумам измерения не должны производиться на постоянном токе. Точное происхождение фликкер-шума до конца не выяснено. Фликкер-шум становится несущественным по сравнению с другими шумами на частотах выше 1 кГц.

**Окружающий шум.** Этот тип шума возникает от источников вне измерительной системы. Окружающий шум часто называется помехами. Помехи могут иметь механическую природу (от механических вибраций) или электрическую. Основными помехами являются кондуктивные электромагнитные помехи (Electromagnetic interference — EMI). Такого рода шум может возникать от:

- Излучения при резких скачках тока, возникающих при включении или отключении нагрузок большой мощности.
- Излучения схем переменного тока, таких, как силовые линии питания, выпрямители и т.д.
- Молний.

Шум от указанных источников обычно возникает на нижних частотах. Но шум может также возникать и на радиочастотах (*radiofrequencies* — RF). Источниками радиочастотного шума могут быть:

- Передатчики (двусторонние радиопередатчики, сотовые телефоны, радары и т. д.).
- Любые электронные устройства, работающие на высоких частотах. Еще одним источником шума, а также повреждения схем является электростатический разряд. Электрический разряд особенно вероятен при сухой погоде и зависит от материалов самого оборудования и окружающей обстановки.

**Снижение окружающего шума.** Самым лучшим методом снижения шумовых эффектов является уменьшение шума в самом источнике шума. Иногда это невозможно, поэтому следующим эффективным методом является попытка отвести шумовой сигнал на землю путем применения фильтров на входе преобразователя. Если этого недостаточно, то общей рекомендацией по снижению помех может служить продуманное размещение в пространстве чувствительных к помехам компонент.

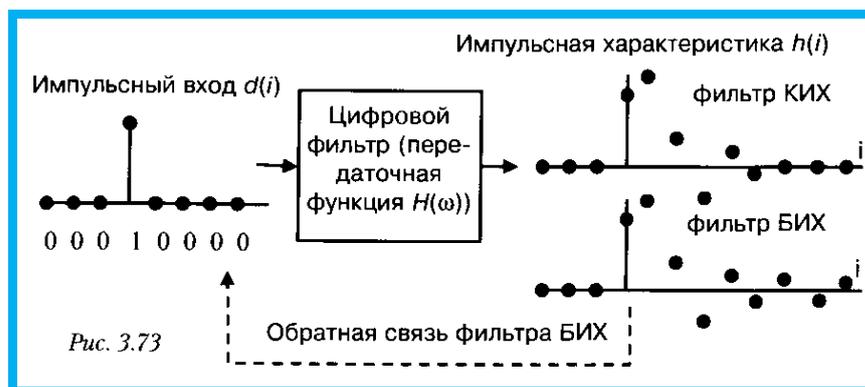
Основной вклад в шумовую составляющую полезного сигнала вносит первый каскад усиления. По этой причине предусилитель должен располагаться как можно ближе к преобразователю. Предусилителем должен быть дифференциальный усилитель с большим коэффициентом подавления синфазных помех (*commonmoderejectionratio* — CMRR). Сигнальные провода от предусилителя до основного усилителя мощности должны быть экранированными и по возможности удалены от трансформаторов, механических переключателей и других источников помех. Все экраны должны быть заземлены в общей точке для исключения возникновения паразитных земляных контуров.

### Цифровая обработка сигналов

**Цифровые фильтры.** Если произвести выборку из  $N$  отсчетов непрерывного сигнала  $y(t)$  через равные промежутки времени  $\Delta t$ , то полученный оцифрованный сигнал будет включать в себя полезную информацию плюс шум, который мог содержаться в исходном сигнале.

Назначение цифрового фильтра состоит в том, чтобы взять полученный при оцифровке массив данных, произвести математические операции над ним и получить другой массив данных, обладающий определенными заданными свойствами (такими, как, например, сниженный уровень шумов).

Цифровые фильтры разделяются на две основные категории: с Бесконечной Импульсной Характеристикой (БИХ) или с Конечной Импульсной Характеристикой (КИХ). Эти термины описывают характеристики фильтра во временной области при воздействии импульсного сигнала на входе фильтра<sup>13</sup>.



Обратная связь фильтра БИХ может устанавливать некоторое значение на входе фильтра, даже если внешний сигнал равен нулю. Выход фильтра никогда не устанавливается в ноль. Он может изменяться, колебаться и даже становиться нестабильным и увеличиваться до бесконечности. БИХ фильтры обычно обчисляются более эффективно, чем КИХ.

<sup>13</sup> А.С. Fischer-Cripps. *Newnes Interfacing Companion*. An imprint of Elsevier Science 2002. – 270 p.

Разница двух типов фильтров состоит в том, что для КИХ фильтра выходной сигнал затухает со временем до 0 при импульсном сигнале на входе. Выходной сигнал КИХ фильтра зависит от текущего и предыдущего отсчета (фильтр не рекурсивный). В БИХ фильтре используется механизм обратной связи, поэтому выходной сигнал зависит как от предыдущих выходных значений, так и от предыдущих и текущих входных отсчетов (т.е. является рекурсивным).

Существуют два подхода к цифровой фильтрации. Можно производить определенные действия над самими данными, используя фильтрующий алгоритм с необходимой передаточной характеристикой. Другой подход — получение частотного спектра входного сигнала с помощью преобразования Фурье, выборкой необходимых частотных компонент с последующим восстановлением сигнала из модифицированного спектра. В этом разделе мы более подробно остановимся на втором методе фильтрации.

**Ряды Фурье** дают представление об амплитудах и частотах гармонических составляющих любого периодического сигнала  $f(t)$ . Для периодической функции с наибольшей длительностью периода  $T_0$  или основной частотой  $\omega_0$  разложение в ряд Фурье записывается в следующем виде:

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos n\omega_0 t + B_n \sin n\omega_0 t],$$

где амплитуды составляющих компонент  $A_0, A_n$  и  $B_n$  рассчитываются по формулам:

$$A_0 = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} f(t) dt; \quad A_n = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} f(t) \cos n\omega_0 t dt; \quad B_n = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} f(t) \sin n\omega_0 t dt$$

Постоянная составляющая или среднее значение  $f(t)$       Амплитуды составляющих частотных компонент  $n\omega_0$

Используя формулу Эйлера, можно показать, что любая гармоническая функция — синус или косинус — может быть представлена парой экспоненциальных функций:

$$\cos \omega t = \frac{1}{2} [e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}]; \quad \sin \omega t = -j \frac{1}{2} [e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}]$$

При подстановке в ряд Фурье получаем:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_0 t} \quad C_n = \frac{1}{2} (A_n - jB_n) \quad n > 0$$

$$C_n = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} f(t) e^{-jn\omega_0 t} dt = \frac{1}{2} (A_n + jB_n) \quad n < 0$$

Примечание:  $C_n$  является комплексным числом, действительная часть которого содержит амплитуду косинусной компоненты, а мнимая часть — синусной.

График зависимости  $C_n$  от частоты является представлением спектра сигнала. Например, если функция  $f(t) = A \cos(\omega_0 t)$ , то частотный спектр представлен парой линий высотой  $A/2$ , расположенных на частотах  $\pm \omega_0$ .

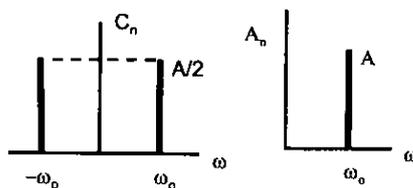


Рис. 3.74

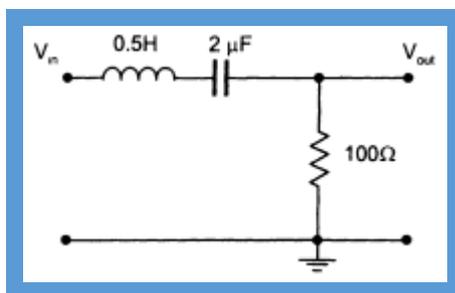
Рис. 3.75

Отрицательные частоты берутся из представления гармонического сигнала парой экспоненциальных функций. Здесь отсутствует постоянная составляющая, поскольку среднее значение функции равно 0.

График слева представляет амплитуды экспоненциальных компонент сигнала. Частотный спектр сигнала этой же функции будет представлен единственной линией высотой  $A$  на частоте  $\omega_0$  (рисунок справа).

### Контрольные вопросы:

1. Преобразователь имеет выходное сопротивление 1,2 МОм. Каково должно быть минимальное входное сопротивление предусилителя, соединенного с преобразователем, для передачи не менее 95% напряжения сигнала на вход предусилителя?
2. Рассчитайте простой RC-фильтр для подавления помех на частоте 50 Гц на 40 дБ. Оцените эффективность этого фильтра для следующих сигналов: (a) 500 Гц, 0,8 В СКЗ<sup>1</sup>, (b) 10 кГц, 1,2 В СКЗ.  
<sup>1</sup> СКЗ - среднеквадратическое значение.
3. Рассчитайте центральную частоту приведенного полосового фильтра:



### **Использованные литературы:**

1. A.C. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. First published 2002. – 295 p.
2. А.С.Фишер-Криппс. Интерфейсы измерительных систем. Издательский дом “Технологии” М.: 2006. 334 с.
3. J.H. Johnson. "Build your own low-cost data acquisition system and display devices." TAB Books. 1994.
4. M. Predko. "PC PhD: Inside PC Interfacing," McGraw-Hill Professional, 1999.
5. W.H. Rigoy, T. Dalby. "Computer Interfacing: A Practical Approach to Data Acquisition and Control Lab Manual." Simon & Schuster. 1995.
6. t.R. Sinclair. "Sensors and Transducers," Butterworth-Heinemann, 2001.
7. G A Smith. "Computer Interfacing." Butterworth-Heinemann, 2000.
8. M.H. Tooley, "PC-based Instrumentation and Control." 3rd Ed.. Butterworth-Heinemann, 2002.
9. W.A. Triebel, "The 80386, 80486, and Pentium Processors: Hardware, Software and Interfacing." Prentice-Hall. 1998.
10. MJ. Usher. DA. Keating. "Sensors and Transducers." 2nd Ed.. Macmillan Press Ltd, 1996.
11. R.M. White, R. Doering, "Electrical Engineering Uncovered." Prentice-Hall. 1997.
12. Busch-Vishniac. "Electromechanical Sensors and Actuators." Springer-Veriag, NY. 1998.

## IV. МАТЕРИАЛЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

На практических занятиях у слушателей закрепляются изученные теоретические основы измерительной техники, решаются практические задачи. Полученные знания и навыки подкрепляются по учебникам и учебным пособиям, лекционным материалам, научным статьям и тезисам пользоваться раздаточным материалом.

### 1-практическое занятие:

#### Измерение силы постоянного электрического тока

**Цель работы:** Ознакомление со способом измерения мощности постоянного тока при помощи амперметра и вольтметра. Получение сведений о способах учета погрешностей измерений в этом случае.

#### Сведения, необходимые для выполнения работы

Повторите вопросы обработки и представления результатов прямых и косвенных измерений и, используя литературу, настоящее описание и Приложение 1 к Практикуму, ознакомьтесь со следующими вопросами.

- Методы измерения мощности постоянного электрического тока.
- Причины возникновения и способы учета погрешностей при измерении мощности постоянного электрического тока.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики электродинамических и ферродинамических ваттметров.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики цифровых ваттметров.
- Метод косвенных измерений мощности при помощи амперметра и вольтметра, включая схемы подключения приборов, расчетные формулы для определения мощности и способы расчета погрешности. Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.
- Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

Измерение мощности в цепях постоянного и переменного тока производится электродинамическими и ферродинамическими ваттметрами, кроме того, используются цифровые ваттметры, в которых для нахождения мощности реализована функция перемножения векторов тока и напряжения. В лабораторных условиях, электродинамические ваттметры до сих пор используются чаще других, они выпускаются в виде переносных многопредельных приборов с классом точности 0,1-0,5.

В отсутствие дорогих и сложных электродинамических и цифровых ваттметров удобно измерять мощность постоянного тока косвенно - при помощи амперметра и вольтметра. В этом случае для определения

искомого значения мощности  $P$  сначала находят значение силы постоянного тока  $I$  и напряжения  $U$ , после чего искомое значение вычисляют по формуле  $P = IU$ .

При косвенных измерениях электрической мощности возможны две схемы включения приборов (рис. 1а и 1б). В обоих случаях на результатах измерений сказывается методическая погрешность, обусловленная влиянием внутреннего сопротивления вольтметра и/или амперметра. В схеме, представленной на рис. 1а, амперметр измеряет не ток нагрузки, а сумму токов нагрузки и вольтметра, в схеме, представленной на рис. 1б, - показания вольтметра определяются не падением напряжения на нагрузке, а суммой падений напряжения на нагрузке и амперметре.

Следовательно, в обоих случаях мощность, вычисленная на основании показаний амперметра и вольтметра, будет отличаться от действительного значения  $P_d$ . Первую схему лучше использовать, если  $R_H \ll R_B$ , вторую - если  $R_H \gg R_A$ , где  $R_H$  - сопротивление нагрузки, а  $R_B$  и  $R_A$  - внутреннее сопротивление вольтметра и амперметра соответственно<sup>14</sup>.

При выполнении косвенных измерений мощности в соответствии с описанной выше процедурой абсолютная методическая погрешность измерений в случае, изображенном на рис. 1а, вычисляется по формуле:

$$\Delta P = P_d \cdot \frac{R_H}{R_B}$$

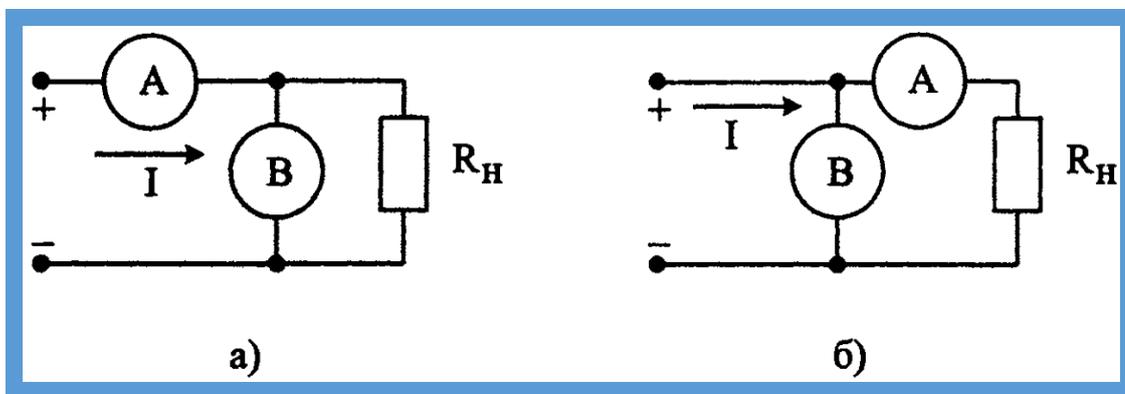


Рис. 1 Различные схемы включения амперметра и вольтметра при измерении мощности постоянного тока

а во втором случае - по формуле:

$$\Delta P = P_d \cdot \frac{R_A}{R_H}$$

<sup>14</sup> А.С. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002. – 235 p.

Косвенные измерения мощности постоянного тока методом амперметра и вольтметра проводят, используя магнитоэлектрические приборы. Инструментальная погрешность этих приборов определяется классом точности, который обычно находится в пределах от 0,5 до 2,5.

Оценка предельной результирующей относительной инструментальной погрешности косвенных измерений мощности электрического тока проводится по формуле:

$$\left(\frac{\Delta P}{P}\right)_{\text{инст}} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U},$$

где  $\Delta I$  и  $\Delta U$  — абсолютные погрешности измерений силы тока и напряжения соответственно. Напомним, что при наличии двух независимых источников погрешности, 9 именно не исключенной методической  $\Delta_{мет}$  и инструментальной  $\Delta_{инст}$  оценка результирующей погрешности вычисляется по формуле.1

Пусть значение допустимого предела основной абсолютной инструментальной погрешности, определяемой классом точности средства измерения, равно  $\Delta_{пр}$  а значение не исключенного остатка абсолютной методической составляющей погрешности равно  $\Delta_{м}$ , тогда границы абсолютной погрешности результата измерений  $\Delta_{изм}$  можно с приемлемой точностью вычислить по формуле:

$$\Delta_{изм} = \sqrt{\Delta_{м}^2 + \Delta_{пр}^2}$$

### **Описание лабораторного стенда**

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде (рис. 2) находятся две модели магнитоэлектрического вольтамперметра, модель магазина сопротивлений, модель УИП и модель КУ.

При выполнении работы модели средств измерений (см. Приложение 1) служат для решения описанных ниже задач.

Модели магнитоэлектрических вольтамперметров используются при моделировании процесса прямых измерений постоянного электрического напряжения и силы постоянного электрического тока методом непосредственной оценки.

Модель магазина сопротивлений используется при моделировании работы многозначной меры электрического сопротивления.

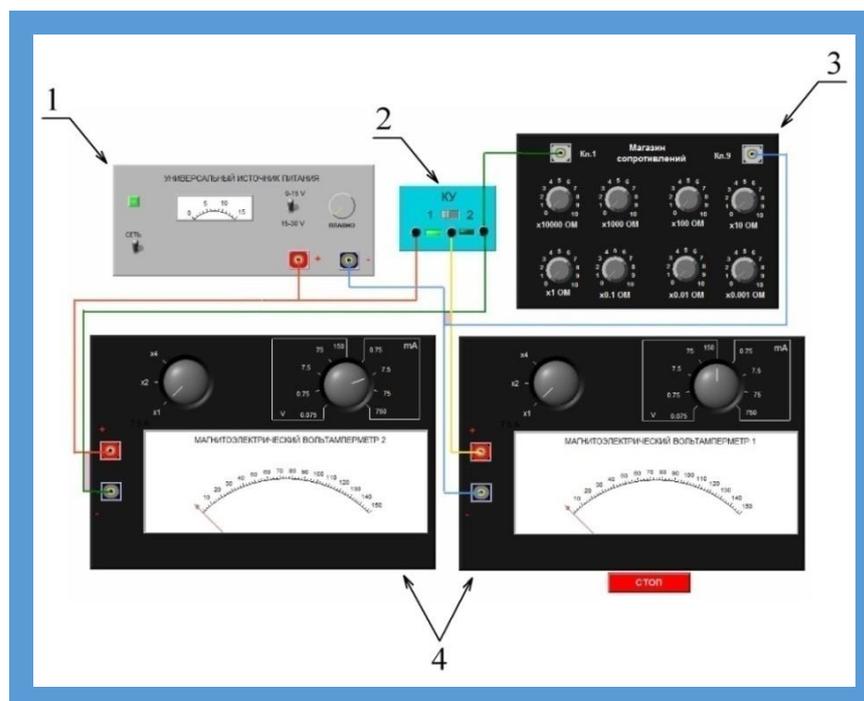


Рис. 2 Вид модели лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы №6 (1- УИП, 4-КУ, 2 - магазин сопротивлений, 3 магнитоэлектрические вольтамперметры)

Модель УИП используется при моделировании работы источника регулируемого стабилизированного напряжения постоянного тока.

Модель устройства коммутации (КУ) используется для моделирования подключения измерительных приборов к электрической схеме в соответствии со схемами, рассмотренными в разделе 3 настоящей работы. На лицевой панели КУ расположены тумблер «Вкл.» включения КУ и световые индикаторы выбранной схемы включения<sup>15</sup>.

Схема соединения приборов при выполнении работы показана на рис. 3.

### Рабочее задание

1. Изучите описание работы и рекомендованную литературу. Продумайте свои действия за компьютером.

2. Запустите программу практикума и выберите работу № 1 «Измерение мощности постоянного электрического тока» в группе работ «Измерение электрических величин». На рабочем столе компьютера автоматически появятся модель стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (рис. 2.) и окно созданного в среде MS Excel лабораторного журнала, который Служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

<sup>15</sup> A.C. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002. – 240 p.

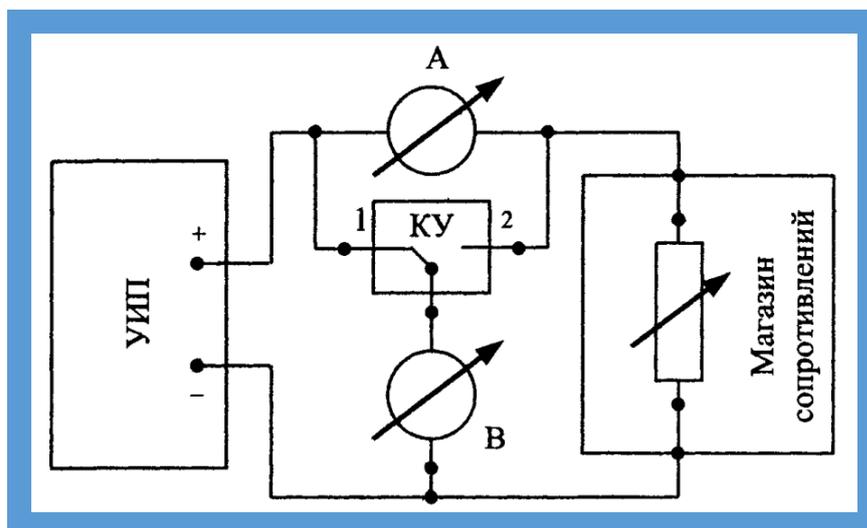


Рис. 3 Схема соединения приборов при выполнении работы №6

3. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе.

4. Рассчитайте значение сопротивления  $R$ , при котором ток в цепи (рис. 1) составит не более 3 А, при напряжении на выходе УИП не более 15 В (при расчете учтите внутреннее сопротивление вольтамперметра и УИП).

5. Подготовьте к работе модель УИП:

- включите тумблер «СЕТЬ»;
- тумблер переключения поддиапазонов УИП установите в положение «0-15 В»;
- с помощью ручки плавной регулировки выходного напряжения установите, ориентируясь на стрелочный индикатор, нулевое напряжение на выходе УИП.

6. Подготовьте к работе магазин сопротивлений, установив с помощью восьмидекадного переключателя сопротивление магазина равным значению, рассчитанному в п. 4.

7. Приготовьте к работе проверенную на отсутствие вирусов, отформатированную 3,5-дюймовую дискету и вставьте ее в дисковод.

8. Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

### **Задание 1 Выполнение косвенных измерений мощности постоянного электрического тока в низкоомных цепях**

а) Подготовьте к работе модели магнитоэлектрических вольтамперметров:

б) с помощью КУ включите приборы по схеме;

в) установите сопротивление нагрузки равным значению, рассчитанному в п.4;

г) установите переключатели пределов измерения и переключатели множителя пределов вольтамперметров в положение, при котором

обеспечивается наилучшее качество измерений при токе в нагрузке в пределах 400-500 мА;

д) плавно повышая напряжение на выходе УИП, добейтесь того, чтобы показания амперметра установились в диапазоне 400-500 мА.

е) Выполните измерение мощности постоянного электрического тока для случая, когда измерительные приборы включены по схеме, изображенной на рис. 6.1а:

- не изменяя регулировки средств измерений и УИП, установленной в пункте "а", снимите показания средств измерений;

- запишите в отчет показания вольтамперметров и магазина сопротивлений, тип и класс точности приборов, выбранные диапазоны измерений;

- увеличьте сопротивление магазина до ближайшего значения, кратного 10 Ом, снимите и запишите в отчет показания средств измерений;

- запишите показания вольтметра и амперметра в отчет;

- не меняя напряжения на выходе УИП, продолжите измерения, увеличивая сопротивление магазина в последовательности 100 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 100 кОм, снимая и записывая в отчет показания средств измерений.

## **Задание 2. Выполнение косвенных измерений мощности постоянного электрического тока в высокоомных цепях**

а) Выполните измерение мощности постоянного электрического тока в цепи при различных значениях сопротивления  $R$  для случая, когда измерительные приборы включены по схеме:

- не меняя напряжения на выходе УИП, переключите КУ в положение 2 и установите сопротивление магазина равным 100 кОм;

- снимите показания вольтметра и амперметра. Запишите полученные результаты в отчет;

- не меняя напряжения на выходе УИП, продолжите измерения, уменьшая сопротивление магазина в последовательности 100 кОм, 10 кОм, 1 кОм, 100 Ом, 10 Ом, значение, рассчитанное в п. 4, снимая и записывая в отчет показания средств измерений.

9. Внимание: при выполнении задания изменяйте по необходимости пределы измерений вольтметра и амперметра так, чтобы показания попадали в рабочий диапазон средств измерений (рекомендуется, чтобы показания оказывались как можно ближе к пределу шкалы прибора).

10. Сохраните результаты.

11. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и при необходимости выключите компьютер.

## Оформление отчета

Отчет должен содержать:

- сведения о цели и порядке выполнения работы;
- сведения об использованных методах измерений;
- сведения о характеристиках использованных средств измерений;
- необходимые электрические схемы;
- данные расчетов, проводившихся при выполнении соответствующих пунктов задания;
- экспериментальные данные;
- полностью заполненные таблицы отчета (см. табл 1), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц;
- графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей измерений мощности от сопротивления при различных схемах включения; анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и по результатам проделанной работы.

Таблица 1.									
Измерение мощности постоянного тока с помощью магнитоэлектрического амперметра класса _____ точности (предел шкалы _____) и магнитоэлектрического вольтметра класса точности _____ (предел шкалы _____)									
Схема включения приборов (I или II)	Показания амперметра, А (мА)	Показания вольтметра, В (мВ)	Абсолютная погрешность измерений			Относительная погрешность измерений, %			Результат измерений мощности, Вт (мВт)
			тока (мА)	напряжения, (мВ).	мощности, (мВт)	тока	напряжения	мощности	

## Контрольные вопросы:

1. Требуется измерить мощность постоянного тока, равную ориентировочно 1 Вт (10 Вт, 100 Вт, 1 кВт). Как это лучше сделать, если требуется, чтобы относительная погрешность измерений не превысила 0,5% (10 мВт)?
2. Какие электромеханические механизмы используются в ваттметрах постоянного тока?
3. Какая область значений мощности постоянного тока доступна для измерения электромеханическими и электронными ваттметрами?
4. В каком случае предпочтительно применять электромеханические, а в каком - электронные ваттметры постоянного тока? Какова примерная погрешность измерений в этих случаях?
5. Назовите основные источники погрешности при косвенном измерении мощности постоянного тока.

6. Какова функция преобразования электродинамического ваттметра? Исправный электродинамический ваттметр имеет класс точности 0,5 и шкалу от 0 до 100 Вт. Какова максимально возможная относительная погрешность измерения мощности, если прибор показывает 50 Вт? В каком диапазоне частот можно использовать электродинамический ваттметр?
7. Сравните точностей характеристики электродинамических и ферродинамических ваттметров.
8. Что можно отнести к существенным достоинствам ферродинамических ваттметров?
- 9.

#### **Использованные литературы:**

1. A.C. Fischer-Cripps. Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science 2002. – 270 p.
2. Калякин А.И. Электроника. Основы электронной техники: Учебное пособие для вузов. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 160 с.
3. Кучумов А.И. Электроника и схемотехника: Учебное пособие для вузов – М.: Гелиос АРВ, 2004. – 335 с.
4. Павлов, В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств: Учебник для вузов / В.Н. Павлов, В.Н. Ногин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 320 с.
5. Христич В.В. Электроника: Тексты лекций. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 203 с.
6. Христич В.В. Лабораторный практикум по курсу “Электроника”. – Таганрог: Изд-во ТТИ, 2009. – 148

## **2-практическое занятие: Измерение частоты и периода электрических сигналов**

**Цель работы:** Получение навыков измерения частоты и периода электрических сигналов. Знакомство с устройством и характеристиками резонансного и электронно-счетного частотомеров.

### **Сведения, необходимые для выполнения работы**

Перед выполнением работы повторите вопросы обработки и представления результата прямых и косвенных измерений и ознакомьтесь со следующими вопросами<sup>16</sup>.

- Переменное электрическое напряжение и параметры, которые его характеризуют.
- Измерение частоты и периода электрических сигналов методами непосредственной оценки и сравнения с мерой.
- Причины возникновения и способы учета погрешностей при измерении частоты и периода электрических сигналов.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики резонансных и цифровых частотомеров.
- Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.
- Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

На практике измерение частоты электрических сигналов (далее частоты) производится в диапазоне от 0 Гц до 10<sup>9</sup> Гц. На низких частотах (от 20 до 2500 Гц), особенно в окрестности частот 50 Гц и 400 Гц, часто используются электромеханические приборы: электромагнитные частотомеры и частотомеры на основе логометров. Основная погрешность электромеханических аналоговых частотомеров составляет 1,0-2,5%. Они имеют узкие диапазоны измерения и используются в качестве щитовых приборов.

В лабораторных условиях для измерения частоты нередко используют осциллографы. Это оправдано, если к точности измерений не предъявляется жестких требований. Получение фигур Лиссажу, использование круговой развертки с модуляцией яркости, определение частоты исходя из измеренного значения периода электрического сигнала - наиболее распространенные способы осциллографических измерений частоты.

Электронные конденсаторные частотомеры применяются для измерения частот в диапазоне от 10 Гц до 1 МГц. Принцип работы таких частотомеров основывается на попеременном заряде конденсатора от батареи с последующим его разрядом через магнитоэлектрический

---

<sup>16</sup> Христин В.В. Электроника: Тексты лекций. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 98 с.

механизм. Этот процесс осуществляется с частотой, равной измеряемой частоте, поскольку переключение производится под воздействием самого исследуемого напряжения. За время одного цикла через магнитоэлектрический механизм будет протекать заряд  $Q = CU$ , следовательно, средний ток, протекающий через индикатор, будет равен  $I_{cp} = Qf_x = CUf_x$ . Таким образом, показания магнитоэлектрического амперметра оказываются пропорциональны измеряемой частоте. Основная приведенная погрешность таких частотомеров лежит в пределах 2-3%.

Семейство аналоговых частотомеров дополняют гетеродинные частотомеры, принцип действия которых основан на сравнении измеряемой частоты с частотой перестраиваемого стабильного генератора. Сравнение осуществляется посредством генеродинамирования напряжений сравниваемых частот. В результате: того нелинейного процесса полученный электрический сигнал будет, кроме исходных частот  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , содержать целый ряд комбинационных, в том числе и разностную частоту  $\omega_1 - \omega_2$ . Когда эта частота близка к нулю, возникают низкочастотные (пулевые) биения, которые удобно наблюдать на экране осциллографа или с помощью специальных электронных устройств. Достоинством гетеродинных частотомеров является возможность измерения очень высоких частот - до 100 ГГц с относительной погрешностью, не превышающей 0,01-0,001%.

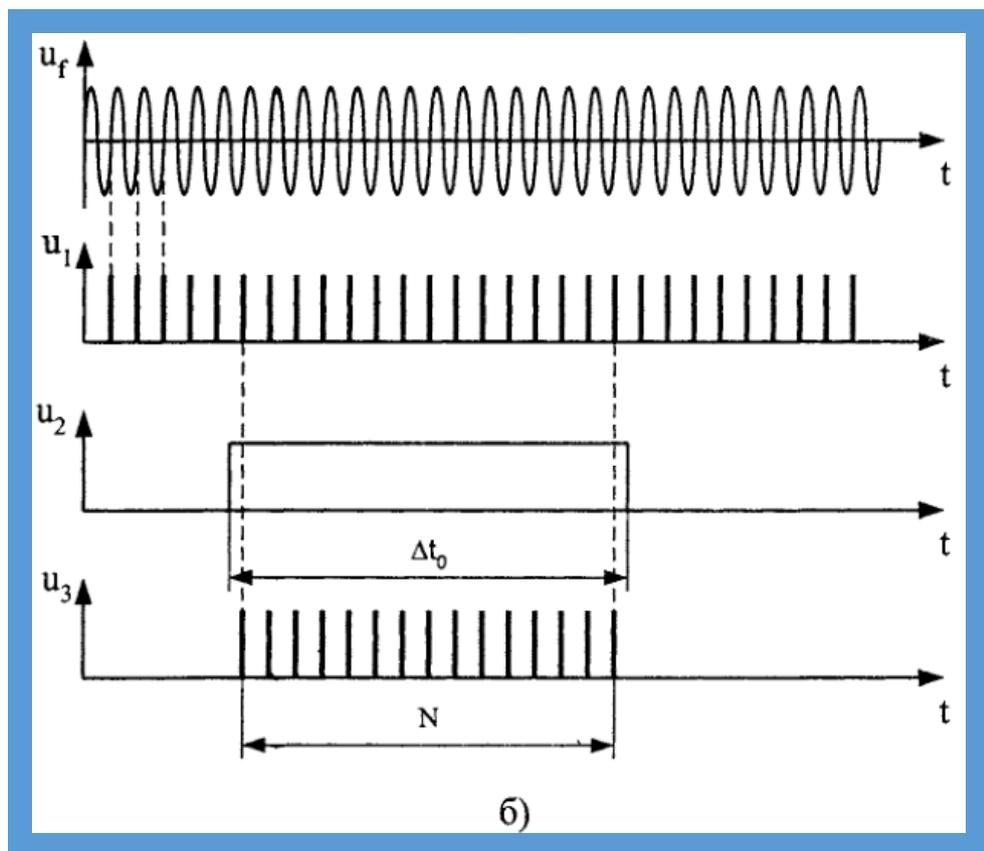
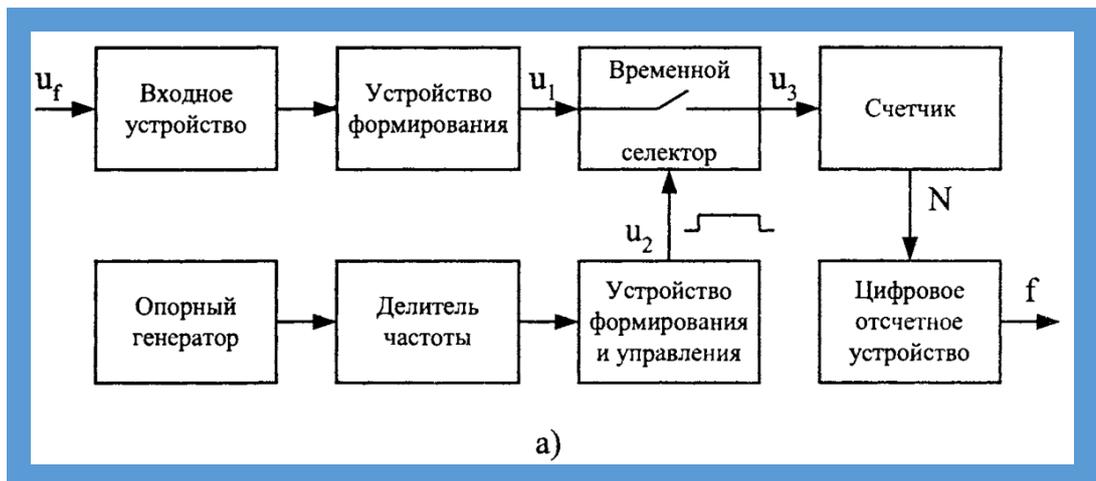
Резонансные частотомеры имеют в своем составе колебательную систему, настраиваемую в резонанс с измеряемой частотой внешнего источника сигналов. Состояние резонанса фиксируют по максимальным показаниям индикатора резонанса. Измеряемую частоту отсчитывают непосредственно по шкале калиброванного элемента настройки (переменного конденсатора). Измеряемая частота может достигать 200 МГц, а относительная погрешность измерений обычно составляет 0,1-1,0%.

**Электронно-счетные частотомеры** являются цифровыми приборами. Принцип работы этих приборов основан на подсчете числа периодов измеряемой частоты за некоторый, строго определенный интервал времени, т.е. используют аналого-цифровое преобразование частоты в количество импульсов в последовательности<sup>17</sup>.

Структурная схема частотомера приведена на рис. 1а, временная диаграмма - на рис. 1.

---

<sup>17</sup> Христич В.В. Электроника: Тексты лекций. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 102 с.



*Рис. 1 Структурная схема (а) и временная диаграмма (б) электронно-счетного частотомера*

Гармонический сигнал  $u_f$  частоту которого нужно измерить, поступает на входное устройство, которое производит с ним необходимое масштабное преобразование. Затем сигнал попадает на формирователь, где преобразуется в периодическую последовательность импульсов  $u_1$ , подающихся на вход временного селектора. Частота следования импульсов  $U_j$  равна измеряемой частоте  $f$ . Временной селектор представляет собой ключ, состояние которого определяется выходным сигналом устройства формирования управления - прямоугольным импульсом  $u_2$  строго определенной длительности. Импульсы  $u_1$  проходят через временной

селектор на счетчик только в течение интервала времени  $At_0$ , равного длительности прямоугольного импульса. Интервал  $Дс_0$  является интервалом времени измерения. Прямоугольный импульс формируется из высокочастотного напряжения кварцевого опорного генератора с помощью делителя частоты и устройства управления. Число импульсов, прошедших через временной селектор подсчитывается счетчиком. Частота определяется по формуле  $f = N / At_0$ . Результат индицируется на цифровом отсчетном устройстве. Погрешность частотомера определяется нестабильностью частоты опорного генератора, приводящей к непостоянству длительности прямоугольного импульса, а следовательно и интервала времени измерения  $At_0$ . Другой составляющей погрешности является погрешность дискретности, вызванная тем, что отношение интервала измерения к периоду исследуемого сигнала не является целым числом. Благодаря высокой стабильности кварцевых генераторов обычно на первый план выступает погрешность дискретности. Она уменьшается с повышением частоты и при предельной для данного вида частотомеров частоте 100 МГц относительная погрешность составляет примерно  $10^{-6}$ . Однако на низких частотах погрешность дискретности становится неприемлемо большой и более рациональным является способ измерения частоты косвенным методом, посредством измерения периода и последующего пересчета его в частоту.

**Измерение периода** также производится методом дискретного счета. Структурная схема, представленная на рис.2а, существенно не отличается от рассмотренной выше схемы частотомера. Разница в том, что длительность прямоугольного импульса, сформированного устройством формирования и управления, не является строго фиксированной, а равна периоду исследуемого напряжения  $T_x$ . И наоборот, частота счетных импульсов задается высокостабильным кварцевым опорным генератором. Период следования счетных импульсов  $T_0$  также является строго определенным. Временные диаграммы приведены на рис. 2б.

Из этого рисунка видно, что число импульсов, укладывающихся в интервал  $T$  равно  $N = T_x / T_0$ . Равенство является приближенным. Приближение определяет погрешность дискретности. Она тем меньше, чем больше измеряемый период  $T$ . Кроме того следует принимать во внимание погрешность, обусловленную нестабильностью частоты счетных импульсов и погрешность, связанную с влиянием шумовой помехи, которая, складываясь с входным напряжением  $и_т$ , может привести к несовпадению начала периода  $и_т$  и фронта прямоугольного импульса

и,. Усложнение схем приборов и использование микропроцессоров позволяет существенно уменьшить указанные погрешности.

Современные приборы сочетают возможности использовать их в качестве частотомеров и измерителей временных интервалов и проведения

как прямых, так и косвенных измерений этих величин для достижения необходимой точности измерения<sup>18</sup>.

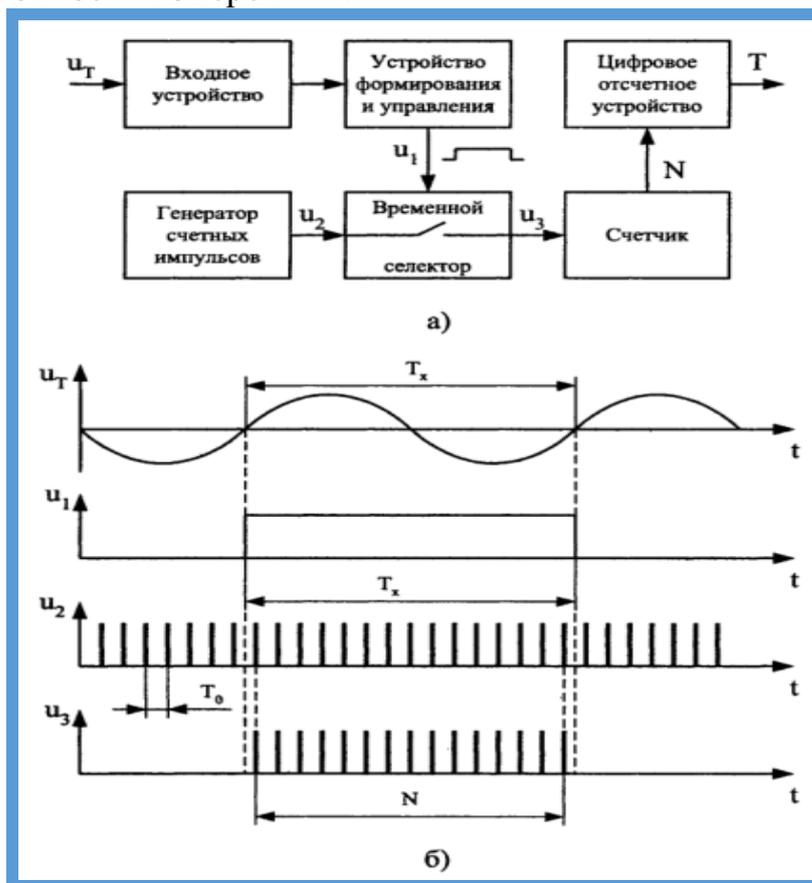


Рис.2 Структурная схема (а) и временная диаграмма (б) электронно-счетного измерителя периода колебаний

Цифровые частотомеры являются наиболее точными среди известных средств измерения частоты электрических сигналов (относительная погрешность может не превышать 10<sup>-7</sup>%) и обладают всеми преимуществами цифровых приборов, например позволяют автоматизировать измерительные процедуры, поэтому они нашли широкое применение. Диапазон частот, измеряемых цифровыми частотомерами, лежит, как правило, в пределах от единиц герц до единиц гигагерц.

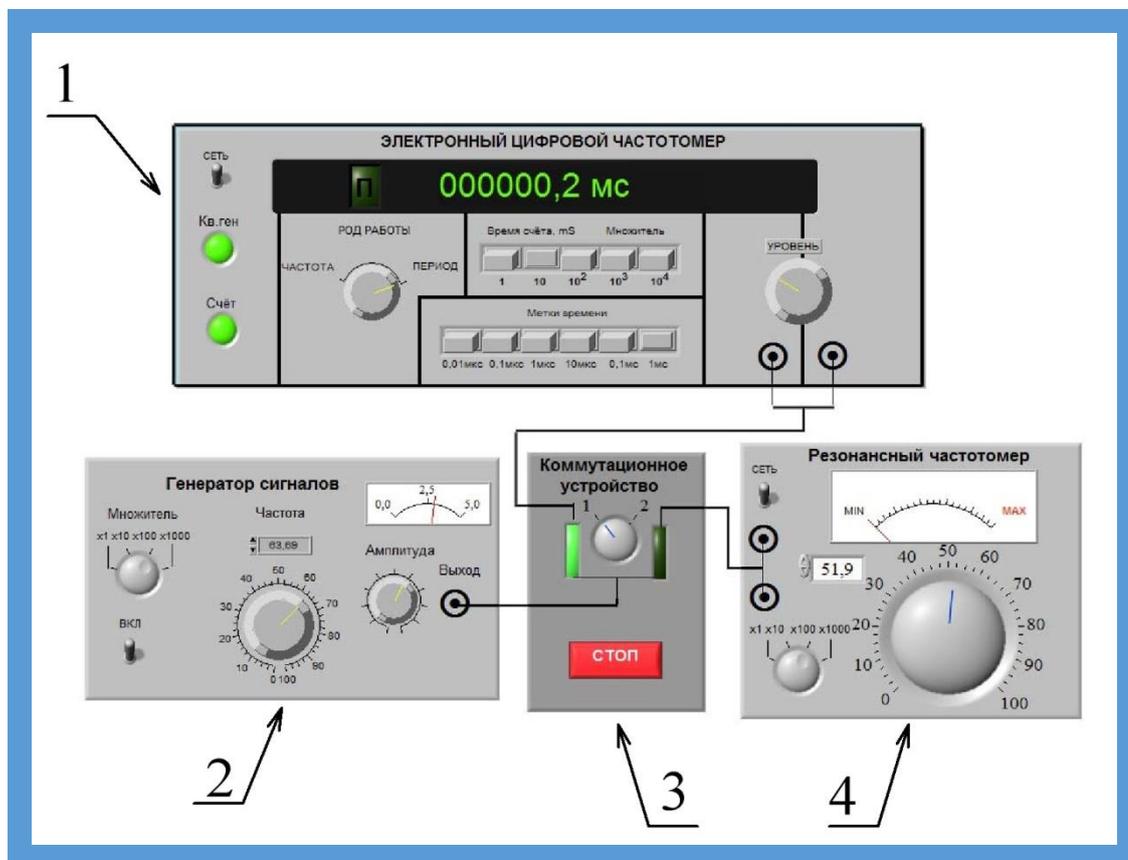
#### Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде (рис. 3) находятся модели резонансного и цифрового частотомеров, генератора сигналов и КУ, с помощью которого выход генератора сигналов подключается к входу одного из частотомеров.

При выполнении работы модели средств измерений (см. Приложение 1) и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

<sup>18</sup> Христин В.В. Электроника: Тексты лекций. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 110 с.

Модели электронного аналогового резонансного частотомера и электронного цифрового частотомера используются при моделировании процесса прямых измерений частоты гармонических электрических сигналов методом непосредственной оценки<sup>19</sup>.



*Рис. 3 Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении работы №3.6 (1 - электронный цифровой частотомер, 2 - генератор сигналов, 3 - КУ, 4 -резонансный частотомер)*

Модель генератора сигналов используется при моделировании работы источника переменного напряжения синусоидальной формы, обеспечивающего регулировку амплитуды и частоты выходного сигнала.

Схема соединения приборов при выполнении работы приведена на рис. 4.

<sup>19</sup> Христич В.В. Электроника: Тексты лекций. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 121 с.

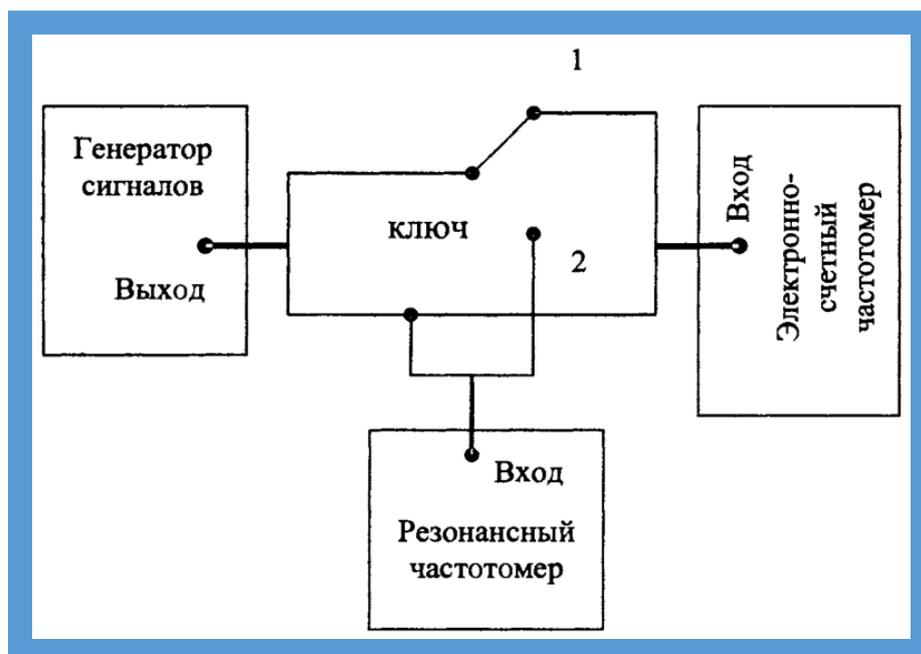


Рис. 4 Схема соединения приборов при выполнении работы №3 б

**Задание 1 Измерение частоты гармонического сигнала резонансным частотомером**

- а) Установите амплитуду выходного сигнала генератора равной примерно 2 В, а частоту выходного сигнала генератора - равной примерно 50 кГц.
- б) Включите резонансный частотомер и выберите подходящий предел измерения.
- в) Подключите с помощью КУ вход резонансного частотомера к выходу генератора.
- г) Измерьте резонансным частотомером частоту гармонического сигнала. В процессе измерений подберите такое положение ручки плавной регулировки настройки резонанса колебательного контура, при котором показания индикатора будут максимальными.
- д) Запишите в отчет показания резонансного частотомера, а также сведения о его классе точности.

**Задание 2 Измерение частоты гармонического сигнала цифровым частотомером**

- а) Включите цифровой частотомер в режиме измерения частоты и выберите время счета равным 0,01 с.
- б) Оставляя неизменными амплитуду и частоту сигнала на выходе генератора, установленные при выполнении задания по п. 4.4а, подключите с помощью КУ вход частотомера к выходу генератора.
- в) Снимите показания частотомера.
- г) Запишите в отчет показания цифрового частотомера, а также сведения о его классе точности.

д) Оставляя неизменными амплитуду и частоту сигнала на выходе генератора, повторите измерения, выбирая время счета равным последовательно 0,1 с, 1 с и 10 с.

е) Запишите показания цифрового электронно-счетного частотомера в отчет.

ж) Выполните измерения согласно пп. «а»-«е» задания, последовательно устанавливая частоту сигнала на выходе генератора равной 5 кГц, 1 кГц, 500 Гц, 50 Гц и 10 Гц.

### ***Задание 3 Измерение периода гармонического сигнала цифровым частотомером***

а) Установите амплитуду выходного сигнала генератора равной примерно 2 В, а частоту выходного сигнала генератора - равной примерно 10 Гц.

б) Подключите с помощью КУ вход цифрового частотомера к выходу генератора.

в) Включите цифровой частотомер в режиме измерения периода и выберите период меток времени равным 1 мс, а множитель периодов - равным 100.

г) Снимите показания цифрового частотомера.

д) Запишите показания цифрового частотомера в отчет.

е) Оставляя неизменными амплитуду и частоту сигнала на выходе генератора, повторите измерения, выбирая период меток времени равным последовательно 0,1 мс и 10 мкс.

ж) Запишите показания цифрового частотомера в отчет.

з) Выполните измерения согласно пп. «а»-«з» задания, последовательно устанавливая частоту сигнала на выходе генератора равной 50 Гц, 500 Гц, 5 кГц и 50 кГц.

1. Сохраните результаты.

2. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и при необходимости выключите компьютер.

### ***Оформление отчета***

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными во введении, а также содержать:

- графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей измерений частоты гармонического сигнала от показаний частотомеров (на графике необходимо выделить полосы допустимых погрешностей);
- графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей измерений периода от показаний цифрового частотомера (на графике необходимо выделить полосы допустимых погрешностей).

Рекомендованная форма таблицы для записи результатов приведена ниже.

Таблица 1									
Результаты измерения частоты электрического гармонического сигнала резонансным и цифровым частотомерами									
Частота на выходе генератора	Показания резонансного частотомера	Показания цифрового частотомера	Время усреднения (с)	Погрешность резонансного частотомера		Погрешность цифрового частотомера		Результат измерений	
				Абс., (кГц)	Отн. %	Абс., (кГц)	Отн., %	Резонансный частотомер	Цифровой частотомер
10 Гц									
50 Гц									
500 Гц									
1 кГц									
5 кГц									

Таблица 2							
Результаты измерения периода электрического гармонического сигнала цифровым частотомером							
Частота на выходе генератора	Показания цифрового частотомера	Период меток времени, мс	Множитель периодов	Погрешность цифрового частотомера		Результат измерений	
				Абс., (мс)	Отн., %	Частота, (кГц)	Период, (мс)
10 Гц							
50 Гц							
500 Гц							
5 кГц							
50 кГц							

### **Контрольные вопросы:**

1. Требуется измерить частоту гармонического электрического сигнала, равную ориентировочно 1 Гц (100 Гц, 1 кГц, 100 кГц, 5 МГц, 100 МГц, 30 ГГц). Как это лучше сделать, если погрешность измерений не должна превысить 0,5% (10 Гц)?
2. В каком диапазоне частот можно выполнять измерения частоты периодических электрических сигналов?
3. Каковы достоинства резонансного метода измерения частоты?
4. Какие частотомеры обладают наибольшей точностью?
5. Какова основная причина возникновения погрешностей при измерении частоты с помощью осциллографа?
6. В каком диапазоне значений частот удобно использовать для измерений цифровой частотомер? Как в этом случае погрешность измерений зависит от значения измеряемой частоты?
7. В каком диапазоне значений длительности периодов удобно использовать для измерений цифровой частотомер? Как в этом случае погрешность измерений зависит от длительности измеряемого периода?
8. Как нормируется класс точности цифровых частотомеров?
9. Какой частотомер дает возможность производить измерения в гигагерцевом диапазоне частот?
10. Какова инструментальная погрешность резонансного частотомера? Чем она определяется?
11. Каким образом при использовании цифровых частотомеров удается достичь высокой точности измерений как в области высоких, так и в области низких частот? В каком диапазоне частот погрешность таких измерений

### **Использованные литературы:**

1. Калякин А.И. Электроника. Основы электронной техники: Учебное пособие для вузов. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. –160 с.
2. Кучумов А.И. Электроника и схемотехника: Учебное пособие для вузов – М.: Гелиос АРВ, 2004. – 335 с.
3. Павлов, В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств: Учебник для вузов / В.Н. Павлов, В.Н. Ногин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 320 с.
4. Христич В.В. Электроника: Тексты лекций. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 203 с.
5. Христич В.В. Лабораторный практикум по курсу “Электроника”. – Таганрог: Изд-во ТТИ, 2009. – 148

## V. БАНК КЕЙСОВ

### «Кейс-стади»

#### в модуле «Информационно-измерительные техники и системы»



**«Кейс-стади» (Case-study)**– система обучения, базирующаяся на анализе, решении и обсуждении ситуаций, как смоделированных, так и реальных. Метод «кейс-стади» интегрирует в себе технологии развивающего обучения, включая процедуры индивидуального, группового и коллективного развития, формирования многообразных личностных качеств обучаемых.

Под методом «кейс-стади» понимается активный метод обучения, основанный на организации преподавателем в группе обучающихся обсуждения задания, представляющего собой описание конкретной ситуации с явной или скрытой проблемой.

Особое место в организации дискуссии при обсуждении и анализе кейса принадлежит использованию метода генерации идей, получившего название «мозговой атаки» или «мозгового штурма». В процессе обучения «мозговая атака» выступает в качестве важнейшего средства развития творческой активности участников. «Мозговая атака» включает в себя три фазы.

Первая фаза представляет собой вхождение в психологическую раскованность, отказ от стереотипности, страха показаться смешным и неудачником; достигается созданием благоприятной психологической обстановки и взаимного доверия, когда идеи теряют авторство, становятся общими. Основная задача этой фазы – успокоиться и расковаться.

Вторая фаза – это собственно атака; задача этой фазы – породить поток, лавину идей; «мозговая атака» в этой фазе осуществляется по следующим принципам:

- есть идея– говорю, нет идеи – не молчу;
- поощряется любое ассоциирование, чем более неожиданной покажется идея, тем лучше;
- количество предложенных идей должно быть как можно большим;
- высказанные идеи разрешается заимствовать и как угодно комбинировать, видоизменять и улучшать;
- исключается критика, можно высказывать любые мысли без боязни, что их признают плохими, критикующих лишают слова;
- не имеют никакого значения социальные статусы участников, это абсолютная демократия и одновременно авторитаризм идеи;
- все идеи записываются в протокольный список идей;
- время высказываний – не более 1-2 минут.

Третья фаза представляет собой творческий анализ идей с целью поиска конструктивного решения проблемы по следующим правилам:

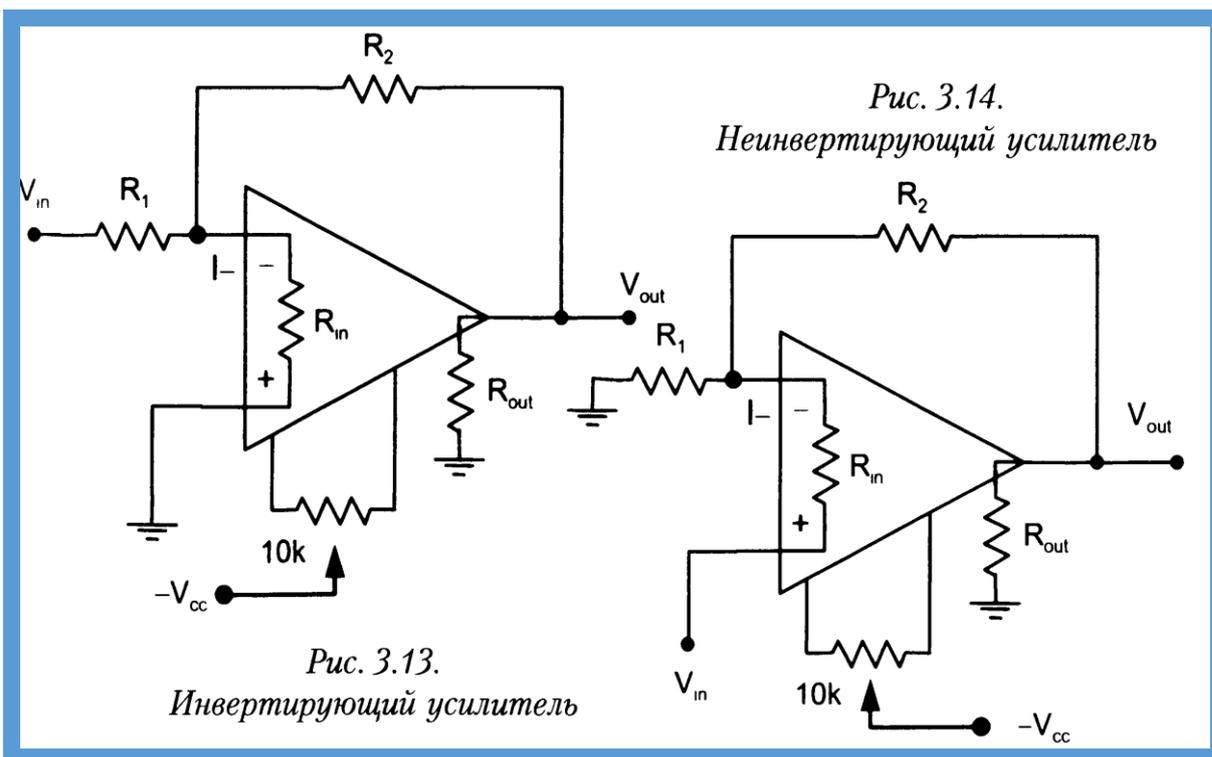
- анализировать все идеи без дискриминации какой-либо из них;
- найти место идее в системе и найти систему под идею;
- не умножать сущностей без надобности;
- не должна нарушаться красота и изящество полученного результата;
- должно быть принципиально новое видение («жемчужина в навозе»).

### Пример занятия по методу «Кейс-стади»

**1-Тема:** «Увеличения коэффициента усиления»

**Цель:** Создание умения считания схем через применение кейсового метода.

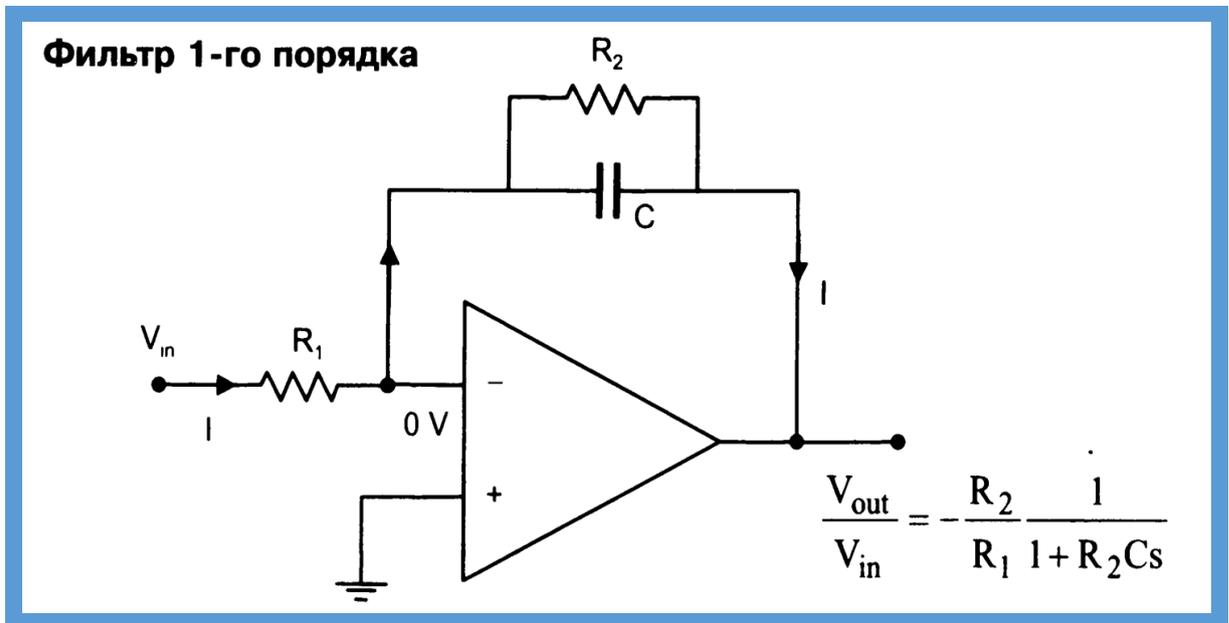
**Задача:** Переобразуйте схему до коэффициента усиления, равного 10, и повторите измерения амплитудно-частотной характеристики, а также входного и выходного сопротивления. Сравните полученные значения с предыдущими и поясните результат.



### 1-Тема: «Фильтр»

**Цель:** Создание умения считания схем через применение кейсового метода.

**Задача.** Для фильтра второго порядка изменяйте значение параметра  $b$  и выявите его влияние на переходную функцию схемы.



#### **Результативность обучения:**

- участники имеют представление о кейсовом методе интерактивного взаимодействия для совершенствования собственной деятельности;

критически подходят к осмыслению, оценке, анализу и синтезу информации, полученной в результате наблюдения, опыта, размышления или рассуждения, что может в дальнейшем послужить основанием к действиям.

## VI. ТЕМЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ

Слушатель во время подготовки самостоятельной работы по данному модулю должен:

- изучить главы и содержание учебной литературы по предмету;
  - освоить по раздаточному материалу определенные части лекций;
  - работать над темами модуля с использованием специальной литературы;
  - глубоко изучить главы предмета, связанные с выполнением учебно-научной работой;
- использовать интерактивные методы обучения, дистанционное обучение.

### Темы для самостоятельных работ:

1. Основные понятия информационно – измерительной техники
2. Передача измерительной информации
3. Измерение информации
4. Измерение информации Основные понятия теории массового обслуживания и теории статистических решений
5. Элементы теории погрешностей
6. Восприятие и передача информации
7. Обработка информации
8. Техническая диагностика
9. Сжатие данных
10. Измерительные системы
11. Теоретические основы систем автоматического контроля (САК)
12. Телеизмерительные системы (ТИС)
13. Системы автоматического управления
14. Методы оценки технических характеристик ИИУС
15. Организационно-методическое и программно-техническое обеспечение проведения испытаний
16. Точностные характеристики ИИУС
17. Временные характеристики ИИУС
18. Нормируемые метрологические характеристики ИИУС
19. Характеристики систем автоматического управления
20. Основы метрологического обеспечения

## VII. ГЛОССАРИЙ

по модулю «Информационно-измерительные техники и системы»

<i>Термин</i>	<i>Обзор на русском языке</i>	<i>Definition in English</i>
Единство измерений	это состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.	it is a condition of measurements at which their results are expressed in legalized units and errors of measurements are known with a given probability.
Измерение	процесс сравнения данной величины с некоторым ее значением, принятым за единицу измерений.	the process of comparing this value with some of its value received per unit of measurement.
Измерительные преобразователи	это средства измерений, вырабатывающие сигналы измерительной информации в форме, удобной для дальнейшего преобразования, передачи, хранения, обработки, но как правило, недоступной для непосредственного восприятия наблюдателем.	This measurement means producing signals measurement information in a form suitable for further conversion, transmission, storage, processing, but is generally inaccessible to the direct perception of the observer.
Измерить какую либо величину	это значит сравнить ее значение с некоторым значением этой величины, принятым за единицу измерения.	it means to compare it with the value of a certain value this value taken as the unit of measurement.
Индикаторы	технические устройства, предназначенные для обнаружения (индикации) физических свойств.	engineering devices designed to detect (indicate) the physical properties.
Инструментальные погрешности	погрешности, которые зависят от погрешностей применяемых средств измерения.	errors, which errors depend on the used measurement equipment.
Интенсивность (или опасность) отказов /? (t)	вероятность того, что средство измерения, проработавшее безотказно в	the likelihood that the measurement means, worked flawlessly

	течение времени $t$ , откажет в последующий малый промежуток времени? $t$ .	during the time $t$ , refuses to follow a small period of time? $t$ .
Интерскоп	прибор, преобразующий невидимые инфракрасные лучи в оптически видимые лучи.	device that converts invisible infrared light in an optically visible rays.
Класс точности	обобщенная характеристика всех средств измерений данного типа, устанавливающая оценку снизу точности их показаний.	generalized description of all measuring instruments of this type, which sets a lower bound for the accuracy of their readings.
Класс точности средства измерения	его обобщенная характеристика, указывающая предельные значения допускаемой основной и дополнительной погрешностей.	its generalized characteristic indicating the limits of permissible basic and additional errors.
Комплексный контроль	одновременная проверка комплекса элементов, определяющих качество контролируемого объекта.	Simultaneous verification of complex elements that determine the quality of the controlled object.
Контактный метод измерений	метод, при котором измерительный наконечник соприкасается с поверхностью измеряемой детали, причем характер контакта может быть точечным, линейным или поверхностным.	a method in which the probe tip comes into contact with the surface of the measured part, the contact may be a dot character, line or surface.
Метод замещения	метод, заключающийся в том, что измеряемая величина замещается известной величиной, получаемой при помощи регулируемой меры.	method, which consists in the fact that the measured value is replaced with a known value obtained by means of an adjustable action.
Метод измерения	это совокупность приемов	a set of principles and

	использования принципов и средств измерений, при которых происходит процесс измерений.	methods of use of measuring instruments, at which the measurement process.
Метрологическая надежность	это свойство средств измерений сохранять установленные значения метрологических характеристик в течение определенного времени при определенных режимах и условиях эксплуатации.	this property measuring means to maintain setpoints metrological characteristics for a certain time under certain conditions and environments.
Метрологические характеристики средств измерений	такие их технические характеристики, которые влияют на результаты и точность измерений.	such their technical characteristics that affect performance and measurement accuracy.
Метрологический отказ средства измерения	"выход" за допускаемые пределы.	"Output" for the allowable limits.
Метрологическое обеспечение	это обеспечение, необходимое для достижения единства и требуемой точности измерений.	This software required to achieve the unity and the required measurement accuracy.
Метрология	наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.	science about measurements, methods and means to ensure their unity and ways to achieve the required accuracy.
Неоднородные серии	серии, состоящие из значений, не подчиняющихся одному и тому же закону распределения вероятности.	series consisting of the values do not obey the same law of probability distributions.
Непосредственный метод измерений	метод определения всего значения определяемой величины.	method of determining the values of all determined values.
Неравно рассеянные серии	серии, с существенным различием оценок дисперсий.	series, with a significant difference in variance estimates.

Неравноточные измерения	измерения, проводимые разными наблюдателями с применением разнообразных измерительных средств и методов измерений.	measurements made by different observers with a variety of measuring instruments and measurement methods.
Нестационарный процесс	процесс, в котором определенный закон распределения вероятности случайной величины неодинаков для любого сечения, т. е. зависит от времени.	a process in which a certain law of probability distribution of the random variable is not the same for all cross sections, i.e. time-dependent.
Образцовые средства измерений	средства, служащие для определения по ним значений метрологических характеристик аттестуемого НСИ.	means serving to define the values of metrological characteristics of attestation NSI.
Абсолютная погрешность прибора	разность между показанием прибора и истинным значением измеряемой величины.	the difference between the readings and the true value of the measured value.
Активный вид контроля	контроль, результаты которого вызывают изменение параметров технологического процесса и влияют на качество выпускаемой продукции.	control, the results of which cause a change in process parameters and affect the quality of the products.
Бесконтактный метод измерений	метод, при котором измеряемый размер определяют без механического контакта между измерительным наконечником и измеряемой деталью.	a method in which the measured size is determined without mechanical contact between the measuring tip and the workpiece being measured.
Вероятность безотказной работы средств измерений $P(t)$	вероятность того, что в течение времени $t$ нормируемые характеристики погрешности средства измерения не выйдут за допускаемые	the likelihood that for a time $t$ normalized characteristics of measuring instruments, error will not go beyond the

	пределы.	permitted limits.
Внезапный отказ	отказ, вызванный случайной поломкой, выходом из строя какого-либо элемента средства измерения.	failure caused by accidental breakage, failure of any means of measuring element.
Внесистемные единицы	единицы, которые не входят в какую-либо систему единиц.	units that are not included in any system of units.
Внешняя взаимозаменяемость	это взаимозаменяемость покупных и кооперируемых изделий и узлов по эксплуатационным показателям, а также по размерам и формам присоединительных поверхностей, по которым взаимосвязанные узлы основного изделия соединяются между собой, а также с покупными и кооперируемыми изделиями.	This interchangeability and kooperiruemyh purchased products and components for performance indicators, as well as the size and shape of connecting surfaces, which interconnected nodes of the main products are connected to each other, as well as to the purchase and kooperiruemymi products.
Внутренняя взаимозаменяемость	это взаимозаменяемость деталей, составляющих отдельные узлы, или составных частей и механизмов, входящих в изделие.	This interchangeability of parts that make up the individual components or component parts and tools included in the product.
Государственный эталон	официально утвержденный в качестве исходного для страны первичный или специальный эталон.	approved as a source country for primary or special standard.
Действительное значение физической величины	это значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.	the physical quantity is a value found by experiment and as approaching to the true value, which for this purpose can be used instead.

Диапазон измерений	область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.	region measured values for which the normalized permissible errors of the instrument.
Динамические погрешности	погрешности, которые возникают из-за инерционности применяемых технических средств при достаточно быстрых изменениях измеряемой величины.	errors that occur due to the inertia of the applied technical means at a sufficiently rapid change of the measured value.
Дифференциальный метод измерений	метод определения отклонения известного значения от меры.	method for determining the deviation of the known value of the measures.
Стационарный процесс	процесс, в котором определен закон распределения вероятности случайной величины одинаков для любого сечения, т. е. не зависит от времени.	a process in which a certain law of probability distribution of a random variable is the same for all cross sections, ie. e. does not depend on time.
Субъективные погрешности	погрешности, которые вызываются неправильными отсчетами показаний прибора человеком (оператором).	errors that are caused by incorrect readings of the instrument the person (operator).
Технологическая специализация	это выделение отдельных стадий технологического процесса в специализированные заводы, цехи, участки.	this separation of the individual process steps in specialized factories, shops, plots.
Типизация	метод стандартизации, заключающийся в установление типовых объектов для данной совокупности, принимаемых за основу (базу) при создании других объектов, близких по функциональному назначению.	standardization method is to establish a model for a given set of objects taken as a basis (base) to create other objects that are similar in functionality.
Толерантный	интервал для случайной	interval for random

интервал	величины погрешности, который в большинстве измерений будет покрывать её возможные значения.	variable error, which in most measurements will cover its possible values.
Точность измерений	качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.	quality measurement, reflecting the closeness of the results to the true value of the measured value.
Физическая величина	это свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.	this property is common in qualitative terms to many physical objects (physical systems, their conditions and processes occurring in them), but in terms of numbers for each individual object.
Функциональная специализация	это специализация, которая возникла в результате разделения и кооперирования труда в области вспомогательного обслуживания производства.	a specialization that has arisen as a result of the division of labor and cooperation in the field of production support services.
Химотроника	наука, в которой используются электрохимические закономерности для создания электрохимических преобразователей.	science, which are used to create electrochemical patterns of electrochemical converters.
Эвристические измерения	измерения, основанные на интуиции.	measurements based on intuition.
Элементный контроль	независимая проверка каждого в отдельности элемента контролируемого объекта.	independent verification of each individual element of the controlled object.
Эргодичность	свойство случайного стационарного процесса, заключающееся в том, что вероятностные	property of stationary random process, which consists in the fact that the

	характеристики, вычисленные по множеству реализаций и по любой из них, равны между собой.	probability characteristics calculated for a variety of implementations for any of them are equal.
Эталон	это техническое устройство, обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы с целью передачи информации о её размере средствами измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.	a technical device providing playback and (or) storage unit in order to transmit information about its size, measuring instruments, made in a special specification and approved in the established order as a reference.
Эталон-копия	эталон, используемый для передачи информации о размере единицы рабочему эталону.	standard used to transmit information about the unit amount of the working standard.
Эталон сравнения	эталон, применяемый для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличимы друг с другом.	standard used for comparisons of standards, which for one reason or another can not be directly slichimy with each other.
Стандартизация в рамках СЭВ	планомерный процесс установления и применения, согласованных между странами СЭВ и утвержденных соответствующими органами СЭВ правил, требований и норм, направленных на создание научно обоснованной нормативно-технической базы для эффективного осуществления всех форм сотрудничества и развития социалистической экономической интеграции	a systematic process of establishing and applying agreed upon between the CMEA countries and approved by the relevant bodies of the CMEA rules, regulations and guidelines aimed at creating a science-based regulatory framework for the effective implementation of all

	стран-членов СЭВ.	forms of co-operation and development of the socialist economic integration of the CMEA member countries.
Однородные серии	серии, состоящие из значений, подчиняющихся одному и тому же закону распределения вероятности.	series, consisting of the values that obey the same law of probability distribution.
Органические (методические) погрешности	систематические погрешности, появление которых обусловлено несовершенством метода измерений или формулой, по которой вычисляют результат, и другими аналогичными факторами и не зависящие от качества изготовления применяемых средств измерений.	systematic errors, the occurrence of which is caused by the imperfection of the measurement method or the formula by which the result is calculated, and other similar factors, and do not depend on the quality of manufacturing of measuring instruments used.
Органолептические измерения	измерения, основанные на использовании органов чувств человека (осязания, обоняния, зрения, слуха и вкуса).	measurements based on the use of human senses (touch, smell, sight, hearing and taste).
Основная погрешность средства измерения	погрешность средства измерения, используемого в нормальных условиях.	error of measuring instruments used in normal conditions.
Основной диапазон измерений	диапазон, из которого с помощью входных элементов (делителей, шунтов, измерительных усилителей) образуются все остальные диапазоны измерений.	range, from which with the help of input elements (dividers, shunts, measuring amplifiers) are formed all the other measurement ranges.
Основные единицы	единицы, выбранные произвольно при построении системы единиц.	units selected at random in the construction of a

		system of units.
Относительная погрешность прибора	отношение абсолютной погрешности к истинному (или измеряемому) значению величины.	the ratio of the absolute error to the true (or measured) value of the quantity.
Пассивный вид контроля	контроль, результаты которого не вызывают изменение параметров технологического процесса и не влияют на качество выпускаемой продукции.	control, the results of which do not cause a change in process parameters and do not affect the quality of the products.
Первичный эталон	эталон, воспроизводящий единицу с наивысшей в стране точностью.	standard reproducing unit with the highest precision in the country.
Погрешность измерения	отклонения результата измерения от истинного значения измеряемой величины.	the deviation of the measurement result from the true value of the measured value.
Погрешность показаний прибора	разность между показанием прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины.	the difference between the readings and the true (real) value of the measured value.
Погрешность средств измерений	разница между значением величины, полученным при помощи этого средства, и истинным значением.	the difference between the values obtained with the help of this tool, and the true value.
Подетальная специализация	это специализация, которая заключается в том, что в процессе изготовления выделяется производство отдельных деталей, узлов и сборочных единиц,	a specialization that is released that the production of individual parts and assembly units during manufacturing,
Полная взаимозаменяемость	это взаимозаменяемость деталей, которая обеспечивается соблюдением параметров с такой точностью, которая допускает сборку и замену любых сопрягаемых деталей, узлов и агрегатов без каких-либо дополнительных	This interchangeability of parts, which ensures compliance with the parameters of such precision that allows the assembly and replacement of all mating parts,

	мероприятиях ~ обработки, подбора, регулировки.	components and assemblies without any additional measures ~ processing, selection, adjustment.
Поправка	значение величины, одноименной с измеряемой, которое нужно прибавить к полученному (при измерении) значению величины с целью исключения систематической погрешности.	value of the quantity being measured with the same name, which must be added to the obtained (measured) value of the quantity in order to avoid bias.
Поправочный множитель	число, на которое умножают результат измерения для исключения систематической погрешности.	the number by which multiply the measurement result to avoid bias.
Порог чувствительности	наименьшее изменение значения измеряемой величины, способное вызвать малейшее изменение в показаниях прибора.	the smallest change in measured value that can cause the slightest change in the readings.
Постепенный отказ	отказ, связанный с временным износом, старением элементов средств измерений, постепенным уходом погрешности за границу допуска.	failure associated with wear and tear of time, aging components of measuring instruments, the gradual withdrawal of error tolerance abroad.
Предел метрологической характеристики	есть наибольшее (без учета знака) значение метрологической характеристики, при котором НСИ может быть признан годным и допущено к применению.	is the largest (excluding the sign) the value of the metrological characteristics, in which the NSI may be declared fit and approved for use.
Предметная специализация	это специализация, которая заключается в том, что на отдельном предприятии сосредоточивается выпуск	This specialization, which is a separate company that focuses output corresponding

	продукции, соответствующей профилю предприятия.	to the profile of the enterprise.
Пренебрежимо малые (ничтожные) погрешности	погрешности, значениями которых можно пренебречь.	error, the values of which can be ignored.
Обязательное и прямое (непосредственное) применение стандартов СЭВ в договорно-правовых отношениях по экономическому и научно-техническому сотрудничеству между странами - участницами конвенции	это обязательное применение стандартов СЭВ на объекты сотрудничества путем ссылки на них в документах, определяющих договорно-правовые отношения (соглашения, договоры, контакты).	is the mandatory application of CMEA standards for collaboration objects by referring to them in documents that define the contractual and legal relations (agreements, contracts, contacts).
Применение стандарта СЭВ в народном хозяйстве стран-участниц конвенции	это непосредственное использование его в качестве национального стандарта без изменений и переоформлений или введение стандарта СЭВ в национальные стандарты, как принято в СССР, при полном соответствии показателей национальных стандартов показателям стандарта СЭВ.	This direct use of it as a national standard without change and renewal, or the introduction of CMEA standards into national standards, as adopted in the Soviet Union, in full compliance performance indicators of national standards CMEA standard.
Производные единицы	единицы, образуемые по определяющему эти единицы уравнению из других единиц данной системы.	the unit formed by the defining equation of these units from other units of the system.
Процесс	изменение физической величины во времени.	change of the physical quantity over time.
Рабочий эталон	эталон, от которого непосредственно получают информацию о размере	standard, which directly receive the information about the

	единицы нижестоящие по схеме технические средства.	amount of hardware units subordinate scheme.
Равно рассеянные серии	серии, с незначимым различием оценок дисперсий.	series, with insignificant difference variance estimates.
Результат измерения	значение физической величины, найденное путем ее измерения.	the value of a physical quantity found by measurement.
Ремонтопригодность	свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путём проведения ремонтов и технического обслуживания.	object property, consisting in the adaptation to the prevention and detection of the causes of its failure, damage and elimination of their consequences by means of repairs and maintenance.
Система единиц физических величин	совокупность основных и производных единиц, относящаяся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами.	a set of basic and derived units, relating to a system of values and formed in accordance with accepted principles.
Систематическая погрешность	составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.	component of measurement error that remains constant or varies regularly by repeated changes of the same magnitude.
Случайная погрешность	составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.	component measurement error, randomly varying during repeated changes of the same magnitude.
Случайный процесс	процесс, который при повторениях каждый раз протекает случайным образом.	a process in which each time repetition occurs randomly.

Совместные измерения	измерения, производимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для нахождения зависимости между ними.	measurements made simultaneously measuring two or more values are not the same name for finding relationships between them.
Современная метрология	наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.	science about measurements, methods and means to ensure their unity and ways to achieve the required accuracy.
Совокупные измерения	измерения, производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при котором искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.	measurements made simultaneously measure multiple quantities of the same name, in which the values of the desired solution of the system are obtained by direct measurements of various combinations of these variables.
Сохраняемость	свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после хранения и транспортирования.	property of an object continuously maintain in good working condition during and after storage and transportation.
Специальный эталон	эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы в особых условиях и заменяющий в этих условиях первичный эталон.	standard, which provides playback unit in the special conditions and the replacement in these circumstances, the primary standard.
Среднее время безотказной работы (или наработка на отказ)	время работы средства измерения.	time measuring means.
Средство измерений	техническое средство, используемое при измерениях и имеющее	technical means used for measurements and having normalized

	нормированные метрологические свойства.	metrological properties.
Стабильность средств измерений	качество средств измерений, отражающее неизменность во времени его метрологических свойств.	quality measuring instruments, reflecting the unchanged during the time of its metrological properties.
Стандартизация	работа по установлению и применению правил с целью упорядочения деятельности в данной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон и, в частности, для достижения всеобщей оптимальной экономии, принимая во внимание рабочие условия и требования техники безопасности.	work on the establishment and application of the rules in order to streamline activities in this area for the benefit of and with the participation of all stakeholders and, in particular, to achieve universal optimum savings, taking into account the working conditions and safety requirements.
Долговечность	свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.	property of an object remain operational until the limit state when the installed system for maintenance and repairs.
Дольная единица	единица в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы, она образуется путем умножения основной или производной единицы на число 10 в соответствующей отрицательной степени.	Unit integer times less systemic or non-systemic unit, it is formed by multiplying the derivative or basic units in the number corresponding to negative 10 degrees.
Дополнительные погрешности	погрешности, которые обусловлены отклонением условий, в которых работает прибор, от нормальных.	errors that are caused by deflection conditions in which the device operates from the normal.

## VIII. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основные литературы:

1. A.C. Fischer-Cripps. *Newnes Interfacing Companion. An imprint of Elsevier Science* 2002. – 295 p.
2. А.С.Фишер-Криппс. Интерфейсы измерительных систем. Издательский дом “Технологии” М.: 2006. 334 с.
3. R.M. Bertrand, "Programmable Controller Circuits, International Thomson Publishing. 1995.
4. H.V. Boyle, D. Page. "Transducer Handbook: User's Directory of Electrical Transducers." Butterworth-Heinemann. 1999.
5. W. Buchanan. "Applied PC Interfacing: Graphics and Interrupts." Addison Wesley Longman, Inc. 1996.
6. F.M. Cady. "Microcontrollers and Microcomputers: Principles of software and hardware engineering," Oxford University Press, 1997.
7. D. Crecraft. S. Gergely. "Analog Electronics Circuits. Systems and Signal Processing." Butterworth-Heinemann. 2002.
8. A.J. Diefenderfer, B.E. Holton, "Principles of Electronic Instrumentation." 3rd Ed.. International Thomson Publishing. 1994.
9. M. Ehvenspoek. R. J. Wiegennk. "Mechanical Microsensors." Springer-Verlag NY, 2000.

### ИНТЕРНЕТНЫЕ РЕСУРСЫ:

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг Матбуот маркази сайти: [www.press-service.uz](http://www.press-service.uz)
2. Ўзбекистон Республикаси Давлат Ҳокимияти портали: [www.gov.uz](http://www.gov.uz)
3. Ахборот-коммуникатсия технологиялари изохли lug'ati, 2004, UNDP DDI: [www.lugat.uz](http://www.lugat.uz), [www.glossary.uz](http://www.glossary.uz)
4. Infocom.uz электрон журнали: [www.infocom.uz](http://www.infocom.uz)
5. [www.press-uz.info](http://www.press-uz.info)
6. [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)
7. [www.edu.uz](http://www.edu.uz)