

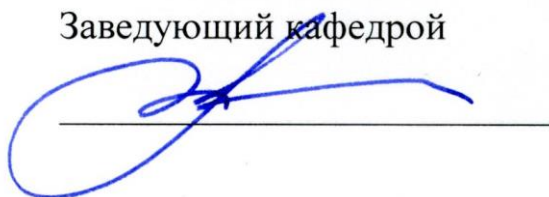
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева  
Кафедра «Системы автоматического управления»

Утверждено на заседании кафедры  
«Системы автоматического управления»  
«09» декабря 2022 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой



О.В.Горячев

**СБОРНИК МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ  
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

по дисциплине

**«Информационные и измерительные устройства в мехатронике и робо-  
технике»**

**основной профессиональной образовательной программы  
высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**15.03.06 Мехатроника и робототехника**

с направленностью (профилем)  
**Мехатроника**

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 150306-01-23

Тула 2022 год

## Разработчик методических указаний

Горячев Олег Владимирович, зав. каф. САУ, д.т.н., проф.  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

## Содержание

<b>№ п/п</b>	<b>Наименования лабораторных работ</b>	<b>Стр.</b>
1	Вводное занятие. Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ в лаборатории. Общий обзор лабораторных работ.	4
2	Лабораторная работа №1. Изучение блок-схемы и принципа работы цифрового электронного вольтметра АВМ- 4084 и мультиметра АММ-1130. Определение электрических параметров мехатронных систем с помощью этих приборов.	5
3	Лабораторная работа №2. Анализ динамических характеристик элементов мехатронных систем с помощью электронного осциллографа АДС-2111М.	13
4	Лабораторная работа №3. Изучение конструкций информационных датчиков механических величин.	23
5	Лабораторная работа №4. Разработка схемы измерительного комплекса и проведение записи расхода жидкости.	34
6	Лабораторная работа №5. Разработка схемы измерительного комплекса и проведение записи нестационарных температур.	40
7	Лабораторная работа №6. Определение параметров механического движения.	45

## **Лабораторная работа №1**

**Вводное занятие. Правила техники безопасности. Общий обзор лабораторных работ.**

### **ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

Изучение правил техники безопасности при проведении лабораторных работ по курсу «Информационные и измерительные устройства в мехатронике и робототехнике» в аудитории 1-317. Знакомство с дисциплиной и общий обзор лабораторных работ.

## Лабораторная работа №2

**Изучение блок-схемы и принципа работы цифрового электронного вольтметра АВМ- 4084 и мультиметра АММ-1130. Определение электрических параметров ме-хатронных систем с помощью этих приборов.**

### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Изучение методов определения электрических параметров мехатронных систем и их элементов с использованием современных электро- и радиоизмерительных приборов.

### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

#### 2.1. Общие положения

Цифровой мультиметр **АКТАКОМ АММ-1130** предназначен для измерения постоянного и переменного (True RMS) напряжения и тока, частоты, сопротивления, емкости, проверки целостности цепи («прозвонка»), тестирования диодов и т.д. Имеется функция фиксации измеренного значения (HOLD), а также измерения максимального/минимального значения и относительных измерений.

Описание органов управления прибора представлено на Рисунке 1.



Рисунок 1 – Описание органов управления цифрового мультиметра АКТАКОМ АММ-1130

#### 2.2. Измерение напряжения постоянного и переменного тока

**Предупреждение!!!** Нельзя подавать на вход напряжение выше 1000 В постоянного тока или среднеквадратичного значения переменного тока. Измерение высокого напряжения следует выполнять осторожно, чтобы избежать поражения электрическим током.

1. Включите питание мультиметра АММ-1130.
2. Для измерения напряжения постоянного и переменного тока и переменной и постоянной составляющей напряжения в диапазоне 1...220 мВ установите поворотный выключатель в положение  $\overline{\nabla}$ .
3. Для измерения напряжения постоянного тока и переменной и постоянной составляющей напряжения в диапазоне 0,22...1000 В установите поворотный выключатель в положение  $\overline{\nabla}$ .
4. Вставьте красный измерительный щуп в гнездо V/ $\Omega$ /C/CAP/DIODE/Hz, а черный измерительный щуп в гнездо COM соответственно.
5. Нажать кнопку FUNC для выбора режима измерения напряжения постоянного тока (DC), напряжения переменного тока (AC). С помощью кнопки RANG установите режим автоматического или ручного выбора диапазона измерений. При кратковременном нажатии происходит переключение в режим ручного выбора диапазона измерений. В режиме ручного выбора диапазона повторное кратковременное нажатие на кнопку RANG изменяет текущий диапазон измерений. Если кнопку RANG нажать и удерживать более двух секунд, измерительный прибор перейдет в режим автоматического выбора диапазонов.
6. При выполнении измерения напряжения переменного тока, подключить красный и черный щупы к измеряемой цепи в любом порядке. При выполнении измерения напряжения постоянного тока, следует подключить красный щуп к положительной полярности измеряемого напряжения, а черный – к отрицательной.
7. В режиме измерения напряжения постоянного и переменного тока кнопкой RANG можно вручную переключать диапазон измерений. Значение измеренного напряжения считывается с экрана дисплея. Если на дисплее АММ-1130 отображаются символы «0L», это означает, что входное напряжение превышает текущий диапазон измерений и необходимо немедленно отключить красный и черный щупы от измеряемой цепи и выбрать более высокий диапазон измерений. Если при максимальном диапазоне измерений на дисплее отображаются символы «0L», это означает, что измеряемое напряжение превышает 1000 В и необходимо немедленно отключить красный и черный щупы от измеряемой цепи.

### 2.3. Измерение силы постоянного и переменного тока

**Предупреждение!!!** Время измерения тока более 5 А не более 10 с с последующим перерывом не менее 15 минут.

1. Включите питание.
2. Для измерения силы тока в диапазоне 20...2200 мкА установите поворотный переключатель в положение  $\mu\text{A}$ .
3. Для измерения силы тока в диапазоне 0,22...220 мА установите поворотный выключатель в положение  $\text{mA}$ .
4. Для измерения силы тока в диапазоне 0,22...10 А установите поворотный выключатель в положение  $\text{A}$ .
5. Вставить красный измерительный щуп в гнездо  $\mu\text{A}$   $\text{mA}$  или  $\text{A}$ , а черный измерительный щуп в гнездо COM соответственно.
6. Нажать кнопку FUNC для выбора режимов измерения силы постоянного тока (DC), силы переменного тока (AC). С помощью кнопки RANG установите автоматический или ручной выбор диапазона.
7. Выключите питание измеряемой цепи, подключить последовательно красный и черный щупы в разрыв цепи и включите питание этой цепи.
8. Измеренное значение силы тока считывается с экрана дисплея. Если во время измерения силы постоянного тока это значение отображается как положительное, это означает, что «+» измерительной цепи соединён с гнездом «A» или «mA» мультиметра АММ-1130, а если оно отображается как отрицательное, это означает, что «+» измерительной цепи соединён с гнездом «COM». Если на дисплее отображаются символы «OL», это означает превышение диапазона измерений и необходимо выбрать более высокий диапазон измерений.

### 2.4. Измерение электрического сопротивления, проверка целостности цепи, тест диодов

**Предупреждение!!!** При измерении внутреннего сопротивления и проверке целостности цепи следует убедиться, что питание проверяемой цепи отключено и все конденсаторы, подключенные к ней полностью разряжены.

1. Включите питание и установите поворотный выключатель мультиметра АММ-1130 в положение  $\Omega$ .
2. Вставьте красный измерительный щуп в гнездо V/ $\Omega$ /C/CAP/DIODE/Hz, а черный измерительный щуп в гнездо COM соответственно.
3. Нажмите кнопку FUNC для выбора режимов измерения сопротивления ( $\Omega$ ), проверки целостности цепи или теста диодов. При измерении сопротивления с помощью кнопки RANG можно установить автоматический или ручной выбор диапазона измерений. Единица измерения сопротивления и положение запятой отображают значение текущего диапазона. В режиме измерения целостности цепи и теста диодов кнопка RANG не функционирует.

4. Для измерения сопротивления подключите красный и черный щупы к выводам резистора, и на экране дисплея отобразится значение измеренного сопротивления. Если на экране отображаются символы «0L», это означает, что сопротивление резистора превышает 220 МОм.

5. При выполнении измерения целостности цепи следует подключить красный и черный щупы к проверяемой цепи. Если сопротивление между двумя точками ниже 50 – 60 Ом, раздастся сигнал зуммера, а на экране отобразится значение сопротивления. Если на экране отображаются символы «0L», это означает, что сопротивление цепи превышает 50 Ом.

6. Для проверки диода подключите красный щуп к аноду диода, а черный – к катоду диода. На дисплее должна отобразиться величина падения напряжения на р-п переходе, смещенном в прямом направлении. Если отображаются символы «0L», то это указывает на обрыв или обратную полярность подключения р-п перехода. При подключении красного щупа к катоду диода, а черного – к аноду, на дисплее должно отобразиться символы «0L», что указывает на исправность р-п перехода при обратном смещении. В противном случае р-п переход пробит.

Примечание. В случае если в режиме ручного выбора диапазона измерений на дисплее отображаются символы «0L», необходимо выбрать больший диапазон измерений.

При проверке сопротивления или целостности цепи в устройстве в первую очередь необходимо отключить питание устройства, а затем выполнять измерение. Так как в устройстве к измеряемому элементу (цепи) могут быть подключены другие параллельные схемы, то отображаемое значение сопротивления не обязательно соответствует фактическому значению сопротивления.

При проверке диодов на печатной плате в первую очередь необходимо отключить питание печатной платы, а затем выполнять измерение.

## 2.5. Измерение емкости

**Предупреждение!!!** Перед измерением емкости конденсатора во избежание поражения электрическим током следует убедиться, что конденсатор полностью разряжен.

1. Включить питание и установить поворотный выключатель в положение **⚡**.  
2. Вставить красный измерительный щуп в гнездо V/ $\Omega$ /C/CAP/DIODE/Hz, а черный измерительный щуп в гнездо COM соответственно.

3. С помощью кнопки RANG установить автоматический или ручной выбор диапазона измерений.

4. Подключить красный и черный щупы к выводам конденсатора; если конденсатор разнополярный, то красный щуп следует подключить к положительному выводу конденсатора, а черный – к отрицательному.

5. Измеренное значение емкости считывается с экрана дисплея. Если значение емкости > 220 мФ, на экране отобразятся символы «0L», а при значении емкости < 10 пФ отобразится ноль.

Примечание: При измерении емкости конденсаторов в диапазоне 0,22...220



мФ, для измерения прибору требуется относительно долгое время для заряда/разряда конденсатора, поэтому обновление измеренного значения происходит относительно медленно.

## **2.6. Измерение частоты и коэффициента заполнения**

1. Включите питание и установите поворотный выключатель мультиметра АММ-1130 в положение Hz%.
2. Вставьте красный измерительный щуп в гнездо V/ $\Omega$ /C/CAP/DIODE/Hz, а черный измерительный щуп в гнездо COM соответственно.
3. Нажмите кнопку FUNC для выбора режимов частоты (Hz) или коэффициента заполнения (%).
4. Подключите красную тестовую линию к высокому потенциалу, а черную – к низкому.
5. Измеренное значение считывается с экрана дисплея. Если частота измеренного сигнала ниже или выше диапазона измерений прибора, на экране будет отображаться ноль. Если амплитуда сигнала слишком мала (меньше 2 В), на экране также будет отображаться ноль.
6. Этот вид измерения выполняется только при автоматическом выборе диапазона измерений.

## **2.7. Измерение относительного значения**

В этом режиме могут быть выполнены любые измерения, за исключением измерений частоты, коэффициента заполнения и проверки диодов. Подключить щупы к цепи или к выводам элемента, значение параметра которых являются опорными для дальнейших относительных измерений. Нажать кнопку REL для включения режима относительных измерений и фиксации в приборе опорного значения. Далее подключить щупы к измеряемой цепи или к выводам элемента, которые сравниваются с опорным, для измерения.

Отображаемое на дисплее мультиметра АММ-1130 значение вычисляется по формуле:

Отображаемое значение = текущее измеренное значение – опорное значение

Если отключить щупы от измеряемой цепи или выводов элемента при выполнении измерений напряжения, силы тока и ёмкости, то на дисплее отобразится опорное значение, при выполнении измерений сопротивления на дисплее отобразятся символы «0L». Для выхода из режима относительного измерения повторно нажать кнопку REL.

В режиме относительных измерений могут быть определены изменения измеряемого параметра относительно опорного значения. Этот режим может быть также использован для измерений малых сопротивлений и емкостей. Например, при выполнении измерения сопротивления следует закоротить красный и черный щупы, нажать кнопку REL для записи опорного значения сопротивления (сопротивления измерительных проводов), и после этого выполнить измерение ма-

лого сопротивления, при этом сопротивление измерительных проводов будет вычтено из измеренного значения. При выполнении измерения емкости разомкнуть красную и черную тестовые линии, нажать кнопку REL для записи ёмкости измерительной цепи прибора, и после этого повторно выполнить измерение емкости, при этом ёмкость измерительной цепи прибора будет вычтена из отображаемого значения.

## **2.8. Измерение максимального и минимального значений**

При нажатии на кнопку MAX/MIN мультиметр АММ-1130 устанавливается в состояние записи и отображения: максимального значения, минимального значения, разности максимального и минимального значений, всех величин за исключением частоты и проверки диода. АММ-1130 измеряет текущее входное значение величины и постоянно сравнивает его с записанными величинами, при необходимости обновляя записанные значения.

Повторное кратковременное нажатие на кнопку MAX/MIN переключает между режимами регистрации максимального, минимального значений или их разности. В этом режиме на аналоговой шкале прибора отображается текущее измеряемое значение.

Для выхода из этого режима необходимо нажать и удерживать кнопку MAX/MIN более двух секунд. При измерении изменяющихся сигналов для регистрации пиковых значений измеряемой величины нажмите кнопку PEAKH. При нажатии кнопки PEAKH один раз будет производиться регистрация максимальных значений, при повторном нажатии – регистрация минимальных значений, при нажатии и удержании клавиши PEAKH – регистрация максимальных и минимальных значений.

## **3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ**

Объектами исследования являются электрические цепи мехатронных элементов и систем.

1. Цифровой мультиметр АММ-1130 .
2. Источник питания постоянного тока АТН-1335.
3. Генератор сигналов специальной формы AWG-4110.
4. Макетная плата.
5. Набор резисторов и других элементов.

## **4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

### **1. Тщательно ознакомиться с настоящей инструкцией и изучить устройство цифрового мультиметра .**

2. Включить цифровой мультиметр и подготовить его к работе.
3. Измерение постоянного напряжения:
  - а) составить электрическую схему, включающую 3 последовательно вклю-

ченные резистора по заданию преподавателя и источник постоянного напряжения (напряжение также задается преподавателем);

б) включить ток и измерить напряжение источника питания, а также падение напряжения на каждом из резисторов;

в) рассчитать погрешности измерения.

#### 4. Измерение постоянного тока:

а) переключить режим работы прибора на измерение тока;

б) включить в разрыв цепи прибор и измерить величину тока;

в) рассчитать погрешности измерения;

г) результаты измерений и расчетов занести в таблицу 1.

#### 5. Измерение переменного напряжения (на частотах 50 и 5000 Гц):

а) составить электрическую схему, магазин сопротивлений по заданию преподавателя мехатронные элементы и системы и источник переменного напряжения с генератора (напряжение также задается преподавателем);

б) включить ток и измерить напряжение источника питания, а также падение напряжения на каждом из резисторов;

в) рассчитать погрешности измерения;

г) результаты измерений и расчетов занести в таблицу 1.

#### 6. Измерение сопротивления постоянному току:

а) отсоединить схему от источника питания;

б) переключить режим работы прибора на измерение электрического сопротивления;

в) измерить сопротивление каждого резистора;

г) рассчитать погрешности измерения;

д) результаты измерений и расчетов занести в таблицу 1.

Таблица 1.

Измеряемый параметр, единица измерения	Напряжение Питания, частота	R1	R2	R3
Падение напряжения на постоянном токе, В				
Падение напряжения переменном токе, В	N вольт; 50 Гц			
	N вольт; 5000 Гц			
Величина постоянного тока, А				
Величина переменного тока, А	N вольт; 50 Гц			
	N вольт; 5000 Гц			
Сопротивления постоянному току, Ом				

7. Измерить электрические параметры для предложенных электронных компонентов в соответствии с п. 2.3-2.7.

## **5. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА**

Отчет о работе должен содержать:

1. Таблицу результатов измерений и расчетов (в соответствии с Таблицей 1)
2. Результаты измерений и расчетов параметров электронных компонентов, предложенных преподавателем (с свободной форме простым перечислением по списку).

## **6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие параметры электрических цепей может измерить мультиметр?
2. Какие возможности для анализа мехатронных систем можно реализовать при помощи мультиметра?

## **7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Т.С. Ратхор. Цифровые измерения. Методы и схемотехника. М.: Техносфера, 2004.- 376 с.
2. Р. Драксел. Основы электроизмерительной техники. М.: Энергоиздат, 1982.— 296 с.
3. В.Д. Кукуш. Электрорадиоизмерения. М.: Радио и связь, 1985. – 368.

## **Лабораторная работа №3**

### **Анализ динамических характеристик элементов мехатронных систем с помощью электронного осциллографа ADS-2111M**

#### **1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Изучение принципов работы электронных осциллографов и методов анализа динамических характеристик элементов мехатронных систем с их использованием.

#### **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

##### **1.1. Назначение, принцип действия и классификация электронных осциллографов**

Одним из направлений развития современного приборостроения является создание технических средств на основе объединения достижений современной микроэлектроники и информационных технологий. Особенное развитие получило создание интеллектуальных (программируемых) средств измерений на основе современных аппаратно-программных средств.

Указанные средства обладают следующими преимуществами:

- возможность обработки результатов измерений;
- отображение результатов измерения с использованием возможностей современных графических редакторов;
- повышение точности и быстродействия.

В качестве примера рассмотрим цифровые осциллографы (ЦО) – представляющие собой аппаратно-программные средства с очень высокими техническими характеристиками.

По возможностям обработки сигналов и быстродействию ЦО приближаются к специализированным сигнальным процессорам, а по возможностям отображения результатов обработки превосходят их.

Внешний вид осциллографа компании «Актаком» серии GDS с цветным ЖК индикатором представлены ниже

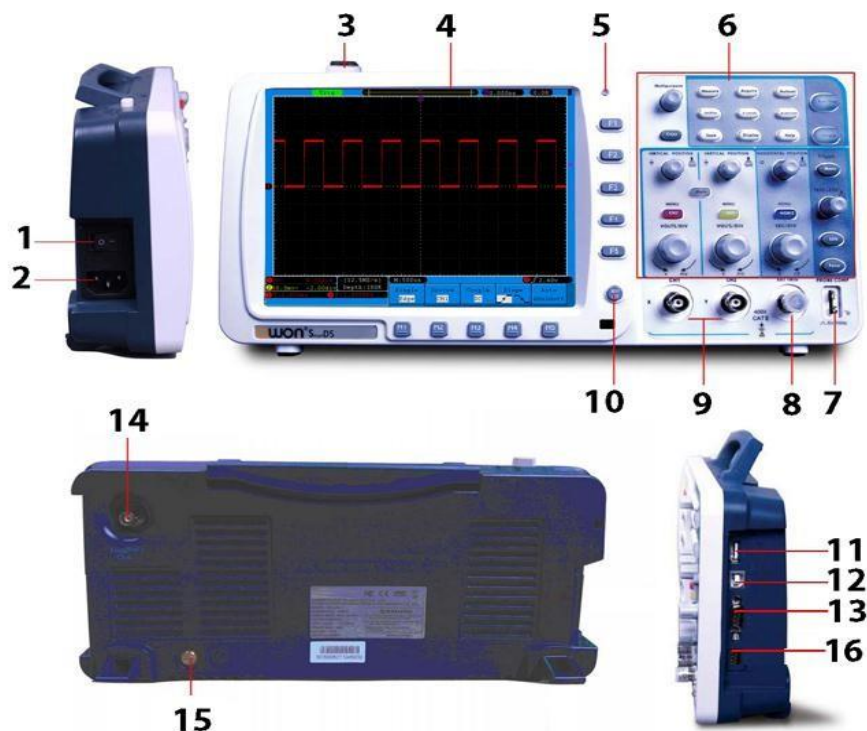


Рис. 1. Передняя и задняя панели прибора. Виды сбоку

- 1) Кнопка включения питания
- 2) Разъем для подключения кабеля питания (для моделей ADS-2031 и ADS-2031V расположена на задней панели)
- 3) Кнопка включения прибора
- 4) Дисплей прибора
- 5) Индикатор сети  
зеленый - прибор включен в сеть, батарея - полностью заряжена (при использовании батареи)  
желтый - прибор включен в сеть, батарея - заряжается (при использовании батареи)
- 6) Область органов управления (рассмотрены на рис.2)
- 7) Разъем для компенсации пробника
- 8) Разъем для внешнего запуска прибора
- 9) Входные разъемы каналов CH1 и CH2
- 10) Кнопка включения/выключения меню
- 11) USB интерфейс для подключения внешнего запоминающего устройства
- 12) USB интерфейс для подключения к компьютеру
- 13) Разъем RS-232 (для моделей ADS-2xxxMV) или VGA (для моделей ADS-2xxxMV и ADS-2031V)

14 ) Разъем выхода Pass/Fail (кроме ADS-2031 и ADS-2031V )

15) Винт для подключения к "земле" (кроме ADS-2031 и ADS-2031V) 16) LAN интерфейс

## 1.2. Структура и принцип действия цифрового осциллографа

На рис. 21 в предельно упрощенном виде показана структурная схема цифрового осциллографа (ЦО).

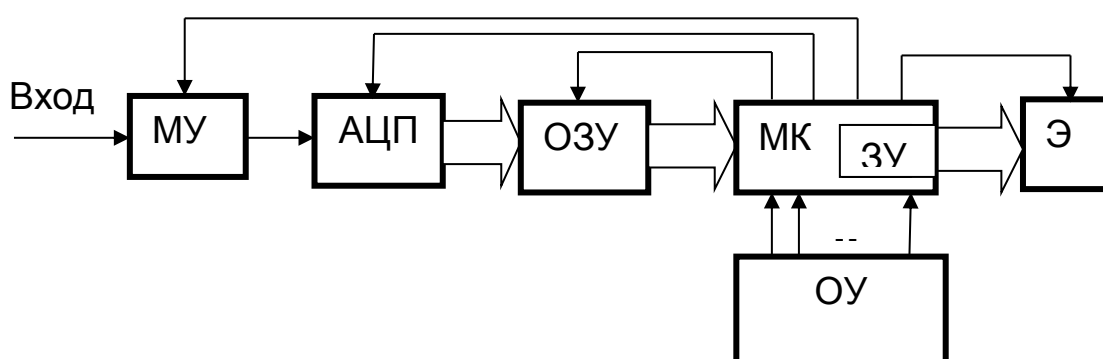


Рис. 2. Упрощенная структурная схема цифрового осциллографа (ЦО)

МУ – масштабирующее устройство (усилитель и делитель напряжения); АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; МК – микроконтроллер; ЗУ – запоминающее устройство; Э – экран; ОУ – органы управления (кнопки, ручки).

Пройдя через МУ, входное напряжение  $u(t)$  преобразуется АЦП в дискретную последовательность кодовых слов  $N_i$ , отображающих мгновенные значения  $u_i$  этого напряжения. Каждое новое кодовое слово записывается в ОЗУ. При этом все предыдущие записанные отсчеты сдвигаются на одну ячейку (регистр сдвига), а самый первый  $N_1$  исчезает, как бы «выталкивается». Если ОЗУ состоит из  $M$  ячеек, то в нём, постоянно обновляясь, содержится  $M$  последних, «свежих», кодовых слов. Так продолжается до тех пор, пока не будет выполнено некое заданное условие, например, когда какое-либо  $u_i$  впервые превысит заданный оператором уровень («запуск по уровню»). После этого содержимое некоторого количества ячеек ОЗУ переписывается в запоминающее устройство ЗУ, входящее в состав микроконтроллера МК.

Каждой ячейке ЗУ соответствует точка на экране по цвету отличающаяся от фона. Её абсциссу определяет номер ячейки, а ординату кодовое слово  $N_i$ , находящееся в этой ячейке.

Для хорошего изображения сигнала на экране вполне достаточно 2 точки на 1 мм. Средних размеров экран имеет высоту 100 мм и ширину 120 мм. Следовательно, на экране должны располагаться  $200 \times 240 = 48\,000$  точек или более.

**Таким образом, для формирования хорошего изображения АЦП должен иметь не менее 8 двоичных разрядов (256 точек по вертикали) и ЗУ должно содержать 256 ячеек.**

Но количество ячеек ОЗУ может быть гораздо больше. Зачем?

ЦО позволяет делать замечательную вещь – запоминать в ОЗУ очень много кодовых слов, а потом «вытягивать» их порциями, соответствующими ширине экрана. В аналоговых осциллографах это, конечно, невозможно. Для обозначения запаса по оси времени («глубина памяти») иногда пользуются такой оценкой длительности сигнала, данные о котором записаны в ОЗУ: «число экранов». Например, «8 экранов» означает, что объём памяти ОЗУ не 256, а 2048 ячеек, в которых записано 2048 кодовых слов  $N_i$ . Каждое  $N_i$  – это 8-разрядный код, т.е. один байт, т.ч. «8 экранов» – это объём памяти в 2 килобайта. Можно вообразить очень широкий экран-ленту – в 8 раз шире натурального, но такой же высоты. На такой ленте было бы записано изображение всего сигнала. Длина этой ленты около одного метра.

**Частоту дискретизации (частоту «выборок») можно изменять в широких пределах, что соответствует изменению масштаба по горизонтали и аналогично изменению скорости развёртки в аналоговых осциллографах.**

Для изменения масштаба по вертикали, как и в аналоговых осциллографах, можно изменять коэффициенты усиления или деления соответственно входного усилителя или делителя напряжения.

В целом ЦО имеет больше сходства с компьютером, чем с аналоговым осциллографом. Он позволяет выполнять различные математические операции: растягивать во времени фрагменты записанного в память сигнала, складывать и вычитать сигналы в разных каналах, определять частотный спектр сигнала путём применения быстрого преобразования Фурье и проч.

### **1.3. Отображение сигнала на экране осциллографа**

Основным недостатком всех цифровых осциллографов является, то, что они работают не в реальном масштабе времени. Что это означает?

На рис. 2 приведен схематический рисунок отображения сигнала аналоговым осциллографом, цветное поле обозначает область рисунка, отображаемую на экране (кадр). Задержка между кадрами составляет время обратного хода луча и регулируемую временную задержку (именуемую в России "стабильность" за рубежом "HOLD") запуска развёртки для получения стабильной синхронизации. Это время достаточно мало по сравнению с временем развёртки и поэтому если сигнал от кадра к кадру изменяется, это изменение немедленно отображается на экране, это и есть отображение сигнала в реальном времени. Динамика сигнала



как по вертикали, так и по -горизонтали соответствует изменениям входного сигнала.



Рис. 3

Цифровой осциллограф использует абсолютно другой принцип работы. Входной сигнал, в размере выбранного кадра, пройдя все входные усилители и аттенюаторы поступает на АЦП, где преобразуется в цифровую форму и поступает во внутреннюю память для дальнейшей обработки (привязки к развертке, выводу на экран, измерение параметров и т.д.), время этой обработки достаточно велико по сравнению с временем кадра, задержка при выводе на экран получается достаточно большая, часть информации об изменении сигнала между кадрами теряется бесследно (см.рис.4). Это и есть отображение входного сигнала в нереальном масштабе времени - главный недостаток всех цифровых осциллографов. Его можно попытаться сгладить, но избежать нельзя!



Рис. 4

Итак, первое искажение сигнала возникает при дискретизации входного сигнала в АЦП. Чаще всего в цифровых осциллографах используются 8-и разрядные АЦП - это 256 отсчетов по амплитуде, что вполне достаточно для исследования сигнала.

Но как входной сигнал записывается в АЦП? Тут пути разных производителей расходятся. Самый простой способ - выбрать как можно большую частоту дискретизации (исходя из соображений целесообразности и полосы пропускания) и записать их в память. Такая дискретизация, с жестко установленным временем между точками дискретизации, называется **периодической (или регулярной)** и используется в осциллографах Tektronix.

При этом способе дискретизации генератор, задающий шаг дискретизации запускается однократно, его сигнал показан в виде импульсной последовательности на рис. 5.

Шаг дискретизации  $T_0$  задается периодом импульсов, показанных на рис. 4, частота дискретизации равна

$$F_d = 1 / T_0$$

Недостатком такого способа является то, что информация между точками дискретизации (красные точки наложенные на сигнал) теряется безвозвратно, не смотря на высокую скорость дискретизации (см. рис 5 и 6) и объем внутренней

памяти, в которой происходит дальнейшая обработка ограничен (но об этом немного ниже). Достоинством - простота и самое главное возможность исследовать однократные сигналы с той же достоверностью, что и периодические.

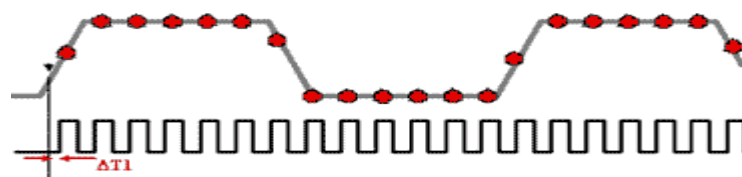


Рис. 5

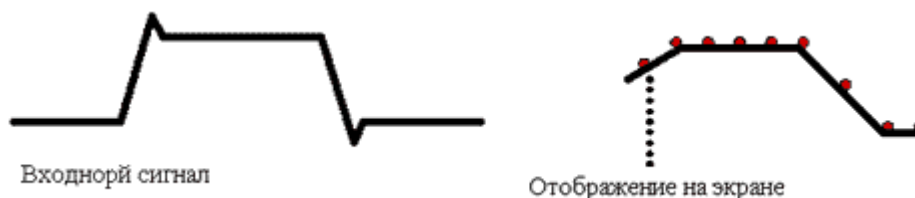


Рис. 6

Естественно, изменения сигнала между точками дискретизации не отображаются на экране, поэтому отображение сигнала на экране искажается, как показано справа на рис.6, этот "дефект заложен конструктивно".

### 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Объектами исследования являются электрические цепи мехатронных элементов и систем.

Для выполнения работы необходим электронный осциллограф ADS-2111M, генератор сигналов специальной формы AWG-4110, набор частотнозависимых и частотнонезависимых электрических цепей, мехатронные элементы и системы.

### 3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить теоретические сведения, представленные в настоящих методических указаниях и рекомендованной литературе.
2. Сформировать отчет по работе с возможностью дополнения его соответствующими экспериментальными данными.
3. Изучить устройство и принцип работы электронного осциллографа ADS-2111M.
4. Провести измерения, указанные в п.5 настоящих указаний и занести полученные экспериментальные данные в отчет.
5. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Тщательно ознакомиться с настоящей инструкцией и изучить устройство электронного осциллографа ADS-2111M.

2. Включить электронный осциллограф ADS-2111M и подготовить его к работе.

3. Собрать цепь, включающую частотно независимую электрическую цепь(рис. 3) генератор сигналов специальной формы и осциллограф:

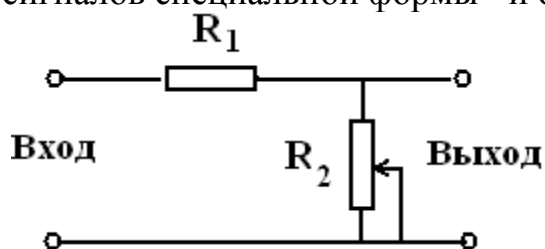


Рис. 7. Схема частотонезависимой электрической цепи.

а) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с основным выходом генератора сигналов специальной формы AWG-4110 и с помощью регуляторов "амплитуда" и "частота Hz" установить выходное напряжение амплитудой 0,25В и частотой 100 Гц, используя возможности осциллографа;

б) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с выходом схемы;

в) подать на вход цепи (рис. 7) это напряжение с генератора сигналов;

г) измерить напряжение на выходе схемы и определить коэффициент усиления цепи.

4. Снять частотную амплитудно-фазовую частотную характеристику и переходный процесс нарастания напряжения цепи.

Собрать цепь, включающую частотнозависимую электрическую цепь (интегрирующего характера рис. 8), генератор сигналов специальной формы (синусоидальное напряжение подать на вход цепи) и осциллограф.

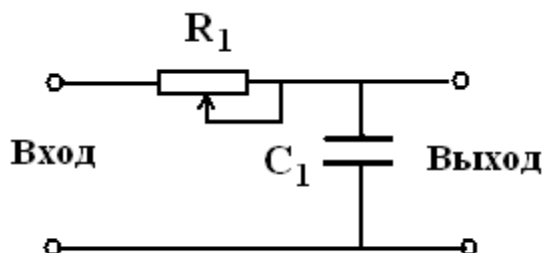


Рис. 8. Частотно зависимая электрическая цепь интегрирующего характера.

а) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с основным выходом генератора сигналов специальной формы AWG-4110 и с помощью регуляторов "амплитуда" и "частота Hz" установить выходное напряжение амплитудой 1В и частотой 0,1 Гц, используя возможности осциллографа;

б) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с выходом схемы;

в) подать на вход цепи (рис. 4) это напряжение с генератора сигналов;

г) изменяя частоту входного сигнала в диапазоне 0,1 – 30 Гц ( 0,1; 0,5; 1; 5; 10; 15; 20; 25; 30 Гц ), **при этом амплитуду сигнала не менять**, с помощью фигуры Лиссажу снять частотную амплитудно-фазовую частотную характеристику цепи;

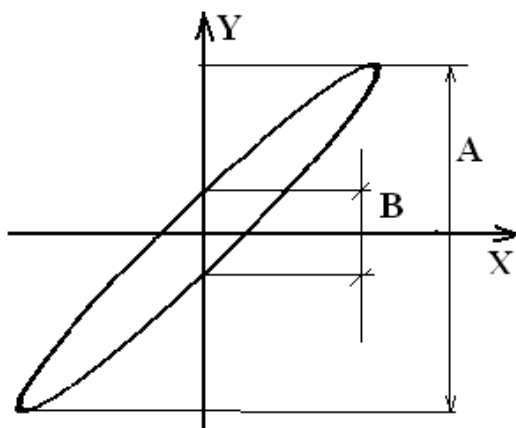


Рис. 9. К определению амплитудно-фазовой частотной характеристики цепи:

здесь A – амплитуда сигнала,  $\varphi = \arcsin \frac{B}{A}$ .

#### 5 Снять переходный процесс нарастания напряжения цепи:

а) установить на генераторе напряжение в форме меандра с амплитудой 1 В и частотой при которой на экране укладывается два периода колебаний (при этом должен быть установлен «ждущий» режим развертки;

б) зарисовать переходный процесс и определить постоянную времени нарастания напряжения в схеме, учитывая калиброванную по длительности напряжение развертки (рис. 6).

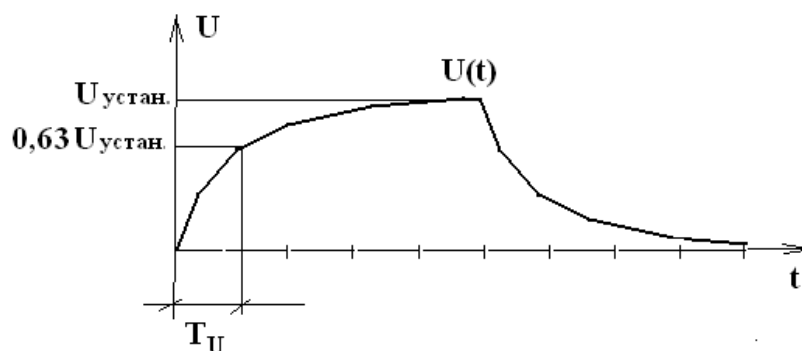


Рис. 10. К определению постоянной времени нарастания напряжения в схеме.

6. Собрать цепь, включающую частотнозависимую электрическую цепь (дифференцирующего характера рис. 11), генератор сигналов специальной формы (синусоидальное напряжение подать на вход цепи) и осциллограф.

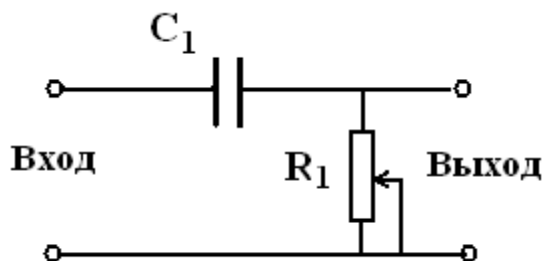


Рис. 11. Частотно-зависимая электрическая цепь дифференцирующего характера.

а) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с основным выходом генератора сигналов специальной формы AWG-4110 и с помощью регуляторов "амплитуда" и "частота Hz" установить выходное напряжение амплитудой 1 В и частотой 1 Гц, используя возможности осциллографа;

б) соединить вертикальный вход осциллографа ADS-2111M с выходом схемы;

в) подать на вход цепи (рис. 7) это напряжение с генератора сигналов;

г) изменяя частоту входного сигнала в диапазоне 1 – 400 Гц (1; 5; 10; 15; 20; 50; 100; 200; 400 Гц), **при этом амплитуду сигнала не менять**, с помощью фигуры Лиссажу снять частотную амплитудно-фазовую частотную характеристику цепи.

## 5. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.

Отчет о работе должен содержать:

1. Электрические схемы каждого опыта.
2. Таблицу (табл. 1) результатов измерений и расчетов.

Табл. 1

Частота Гц ( $f_i$ )	$\omega_i = 2\pi f_i$	$\lg \omega_i$	$A_i$	$20 \lg A_i$	$B_i$	$\varphi_i$
$f_1$	$\Omega_1$	$\lg \omega_1$	$A_1$	$20 \lg A_1$	$B_1$	$\varphi_1$
$f_2$	$\Omega_2$	$\lg \omega_2$	$A_2$	$20 \lg A_2$	$B_2$	$\varphi_2$
-----	-----	-----	---	---	-----	---
$f_i$	$\omega_i$	$\lg \omega_i$	$A_i$	$20 \lg A_i$	$B_i$	$\varphi_i$

3. Логарифмические амплитудно-фазовые частотные характеристики частотнозависимых электрических цепей. Логарифмические амплитудно-фазовые частотные характеристики частотно зависимых электрических цепей построить в масштабе **2 мм - 1 дБ, 50 мм - 1 декада, 1 мм - 1 градус на одном графике.**

4. Переходный процесс со всеми необходимыми построениями и определенной постоянной времени  $T_U$ .

## **6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие типы осциллографы вы знаете?
2. Что такое аттенюатор и какую функцию он выполняет в осциллографе?
3. Для каких целей используется «ждущая» развертка?
4. Каким образом можно с помощью осциллографа измерить временные интервалы и амплитуду сигнала?

## **7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Т.С. Ратхор. Цифровые измерения. Методы и схемотехника. М.: Техносфера, 2004.- 376 с.
- 2 . В. П. Дьяконов. Современная осциллография и осциллографы. Серия «Библиотека инженера». - М.: СОЛОН-Пресс, 2013. - 320 с: ил.
3. В.Д. Кукуш. Электрорадиоизмерения. М.: Радио и связь, 1985. – 368 с.

## **Лабораторная работа №4**

### **Изучение конструкций информационных датчиков механических величин**

#### **1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Изучение принципов работы, конструкций, назначения датчиков механических величин, характеристик и методов установки на редукторах ЭСП.

#### **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

В любой следящей системе можно условно выделить два канала распространения сигналов (см. блок-схему электрической следящей системы в стенде к лабораторной работе):

1) канал управления (информационный канал), по которому передаются сигналы управления с входа следящей системы к объекту управления.

2) энергетический канал (силовая часть), по которому преобразуемая энергия распространяется от источника питания к объекту управления.

Элементами канала управления являются датчики рассогласования (измерительное устройство), корректирующие устройства, усилители напряжения и мощности, исполнительные элементы и механическая передача (силовой редуктор).

Энергетический канал системы включает в себя источник питания, выходные каскады усилителя мощности, исполнительный двигатель, силовой редуктор.

В канал управления типичного приборного аналогового следящего ЭСП входят: датчик рассогласования с использованием синусно-косинусных или линейных вращающихся трансформаторов (СКВТ или ЛВТ), фазочувствительный выпрямитель, сглаживающий фильтр, усилитель постоянного тока, последовательное корректирующее устройство, суммирующее устройство, модулятор длительности импульсов, усилитель мощности, исполнительный двигатель и редуктор. В дискретных следящих приводах сигнал ошибки формируется в управляющей вычислительной машине (УВМ) или микроконтроллере. И здесь наиболее часто информация о текущем значении регулируемой величины поступает по каналам главной обратной связи с цифрового датчика.

#### **3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ**

Объектами исследования являются информационные датчики механических величин: СКВТ(контактные и бесконтактные), редуктосины и индуктосины, тахогенераторы постоянного и переменного тока, фотоимпульсные датчики скорости, потенциометры.

#### **4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ**

1. Изучить назначение, конструкции, характеристики датчиков механических величин, и методов установки на редукторах ЭСП.

2. Познакомиться с типичными параметрами датчиков.

## **5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

- 1. Изучить эскизы и паспортные характеристики датчиков механических величин, представленные в методических указаниях.**
- 2. Разработать эскиз установки изученных датчиков на редукторах ЭСП.**

## **6. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА**

Отчет о работе должен содержать.

- 1. Назначение, эскиз конструкции, характеристики (в виде таблицы) одного из датчиков механических величин (выбираем сами: ВТ-5; МВТ-2; 5ВТ; 2,5БВТ или любой другой тип из методических указаний).**
- 2. Эскизы установки датчиков на редукторах ЭСП.**

## **7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1. Объяснить функциональное назначение и принцип работы датчиков механических величин следящей системы?**
- 2. В чем состоит отличие контактных и бесконтактных СКВТ?**
- 3. Сигналы какого тока являются на выходе потенциометра, СКВТ, тахогенераторов и фотоимпульсного датчика?**
- 4. Что произойдет с СКВТ, если существенно запитать его постоянным током?**

## **8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

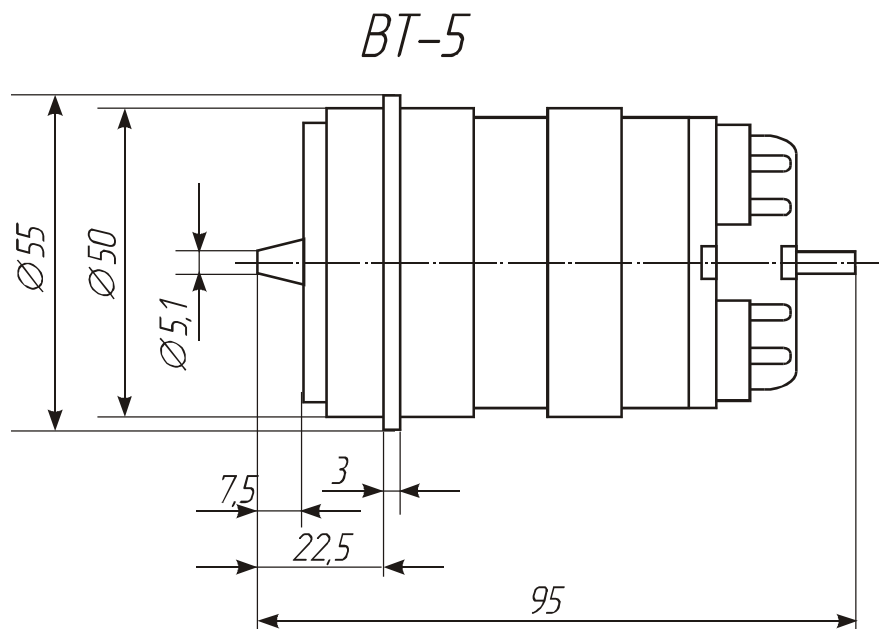
- 1. Следящие приводы. В 3 т. /Под ред.Б.К. Чемоданова. Том 1- Москва, Изд-во МГТУ им Баумана, 1999г.-904стр.**
- 2. Следящие приводы. В 3 т. / Под ред. Б.К. Чемоданова. Том 2– М.: Изд-во МГТУ им Баумана, 2003г.-880 с.**
- 3. Проектирование следящих систем. /Под ред. Н.А. Лакоты. - Москва, Машиностроение, 1992г.-352стр**
- 4. Хрущев В.В. Электрические микромашины автоматических устройств. -Ленинград: Энергия,1976г.-384стр.**



## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Вращающиеся трансформаторы серии ВТ-5.

Вращающиеся трансформаторы этой серии представляют собой контактную двухполюсную четырёхобмоточную машину. Крепление ВТ — за упорный буртик. Режим работы — продолжительный. Масса ВТ серии ВТ-5 0,68кг.



Точностные показатели ВТ серии ВТ-5

Показатель	Норма для класса				
	А	Б	0	1	2
Погрешность отображения синусной зависимости, %	±0,02	±0,04	±0,06	—	—
Асимметрия нулевых положений ротора, угл. мин	±0,5	±1	±1,5	—	—
ЭДС квадратурной обмотки, %	0,125	0,25	0,375	—	—
Остаточная ЭДС, %	0,015	0,02	0,03	0,02	0,04
Неравенство коэффициентов трансформации, %	0,2	0,2	0,2	—	—
Погрешность отображения линейной зависимости, %	—	—	—	±0,11	±0,22

Технические данные ВТ серии ВТ-5

Обозначение (тип) ВТ	Назначение ВТ	Напряжение, В		Z <sub>01</sub> , Ом	К
		Номинальное	Рабочий диапазон		
КФ3.031.048	СКВТ	40	0-40	200	0,53
ЛШЗ.010.527	ВТДП-Д				
КФ3.031.049	СКВТ	40	0-40	200	0,96
ЛШЗ.010.527-01					

КФ3.031.050	СКВТ	60	0-60	400	0,53
ЛШЗ.010.527-02	ВТДП-Д				
КФ3.031.051	СКВТ	60	0-60	400	0,96
ЛШЗ.010.527-03					
КФ3.031.052	СКВТ	60	0-60	800	0,53
ЛШЗ.010.527-04					
КФ3.031.053	СКВТ	60	0-60	800	0,96
ЛШЗ.010.527-05	ВТДП-Д				
ЛШЗ.010.527-06	СКВТ	60	0-60	1600	0,53
КФ3.031.054					
КФ3.031.055	СКВТ	60	0-60	1600	0,96
ЛШЗ.010.527-07					
КФ3.031.104	СКВТ	127	0-127*	400	0,56
ЛШЗ.010.527-12					
КФ3.031.105	СКВТ	127	0-127*	400	1
ЛШЗ.010.527-13					
КФ3.031.064	ЛВТ	40	0-40	200	0,373
ЛШЗ.010.527-08					
КФ3.031.065	ЛВТ	40	0-40	200	0,746
ЛШЗ.010.527-09					
КФ3.031.066	ЛВТ	60	0-60	400	0,373
ЛШЗ.010.527-10					
КФ3.031.067	ЛВТ	60	0-60	400	0,746
ЛШЗ.010.527-11					
КФ3.031.106	ЛВТ	127	0-127*	400	0,373
ЛШЗ.010.527-14					

\* при постоянной амплитуде напряжения возбуждения

#### Технические данные, общие для Вт серии ВТ-5

Номинальная частота напряжения возбуждения, Гц	500
Диапазон рабочих частот напряжения возбуждения, Гц	380-1000
Погрешность следования трансформаторной дистанционной передачи, угл. мин.	±3
Изменение коэффициента трансформации при изменении напряжения возбуждения, %	0,02
Изменение сдвига фазы выходной ЭДС при изменении напряжения возбуждения, угл. мин.	8
Изменение нулевого положения ротора при изменении напряжения возбуждения, угл. мин.	2
Изменение коэффициента трансформации при изменении температуры окружающей среды на каждые 40°C, %	0,03
Изменение сдвига фазы выходной ЭДС при изменении температуры окружающей среды на каждые 40°C, %	40
Изменение переходного сопротивления контакта при повороте ротора ЛШЗ.010, Ом	0,1
Частота вращения, об/мин: КФ3.031	5

ЛШЗ.010  
Момент статического трения,  $10^{-3}\text{Н}\cdot\text{м}$

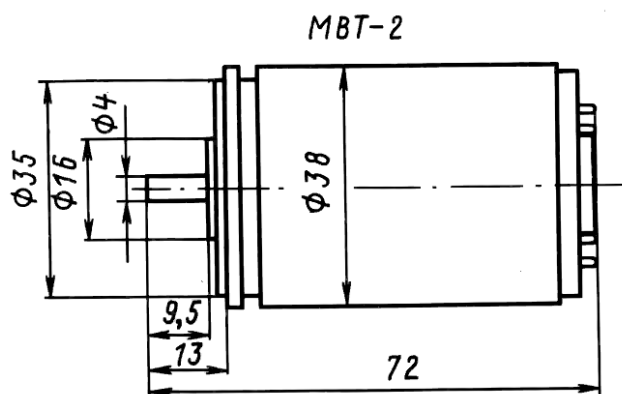
60  
13

### Условия эксплуатации ВТ серии ВТ-5

Вибрационные нагрузки:	
Диапазон частот, Гц	До 2000
Ускорение, $\text{м}/\text{с}^2$	100
Ударные нагрузки, $\text{м}/\text{с}^2$	750
Температура окружающей среды, °С, %	-60÷+100
Гарантийная наработка, ч:	
КФЗ.031	6000
ЛШЗ.010	12000

### Вращающиеся трансформаторы серии MBT-2

Вращающиеся трансформаторы этой серии представляют собой контактную двухполюсную четырёхобмоточную машину. Крепление ВТ — фланцевое с упорным буртиком. Режим работы — продолжительный.



### Точностные показатели ВТ серии MBT-2

Показатель	Норма для класса			
	А	Б	0	1
Погрешность отображения синусной зависимости, %	±0,02	±0,04	±0,06	±0,1
Асимметрия нулевых положений ротора, угл. мин	±1	±1,5	±2	±3,5
Остаточная ЭДС, %	0,05	0,09	0,125	0,19
Неравенство коэффициентов трансформации, %	±1,5	±2,5	±3,0	±5

### Технические данные ВТ серии ВТ-5

Обозначение (тип) ВТ	Назначение ВТ	Напряжение, В		Z <sub>01</sub> , Ом	К
		Номинальное	Рабочий диапазон		
5МВТ-2-5Э	СКВТ	30	28,5-31,5	500	0,56
	ЛВТ				
5 МВТ-2-10Э	СКВТ	30	28,5-31,5	500	1
10 МВТ-2-5П	СКВТ	28	2-28	1000	0,56
10 МВТ-2-10П	СКВТ	28	2-28	1000	1
20 МВТ-2-5П	СКВТ	28	2-28	2000	0,56
20 МВТ-2-10П	СКВТ	28	2-28	2000	1

#### Технические данные, общие для Вт серии МВТ-2

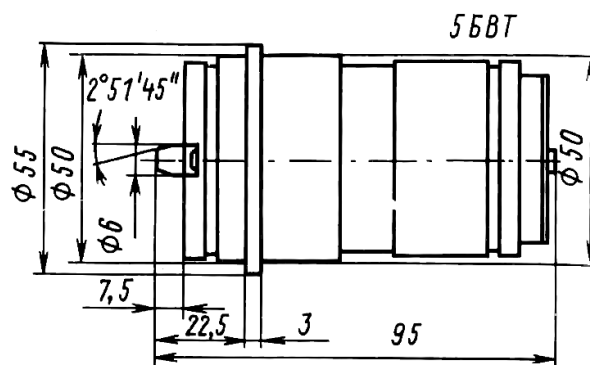
Погрешность отображения линейной зависимости, %	±0,2
Погрешность следования трансформаторной дистанционной передачи, угл мин:	
При комплектной поставке ВТ классов А и Б	±3
То же классов 0 и 1	±5
При некомплектной поставке ВТ классов А и Б	±6
То же классов 0 и 1	±10
Номинальная частота напряжения возбуждения, Гц	400
Диапазон рабочих частот напряжения возбуждения, Гц	380-5 5
Изменение коэффициента трансформации при изменении напряжения воз- буждения, %	0,15
Изменение коэффициента трансформации при изменении температуры окружающей среды на каждые 40°С, %	0,15
Частота вращения вала, об/мин:	60
Момент статического трения, Н·м	0,001
Масса, кг	0,35

#### Условия эксплуатации ВТ серии МВТ-2

Вибрационные нагрузки:	
Диапазон частот, Гц	До 1000
Ускорение, м/с <sup>2</sup>	75
Ударные нагрузки, м/с <sup>2</sup>	750
Температура окружающей среды, °С, %	-60÷+100
Относительная влажность воздуха при температуре 40°С	98
%	
Гарантийная наработка, ч:	2000

## Бесконтактные вращающиеся трансформаторы серии 5ВТ

Вращающиеся трансформаторы серии 5ВТ представляют собой двухполюсную трехфазную или четырехфазную машину. Крепление ВТ — за упорный буртик. Режим работы — продолжительный.



Технические данные, общие для ВТ серии 5ВТ

Номинальная частота напряжения возбуждения, Гц	400
Диапазон рабочих частот напряжения возбуждения, Гц	380-420
Изменение коэффициента трансформации при изменении напряжения возбуждения, %	0,15
Изменение коэффициента трансформации при изменении температуры окружающей среды на каждые 40°С, %	0,8
Изменение положения согласования трансформаторной дистанционной передачи при изменении температуры окружающей среды, угл. мин.	3
Частота вращения вала, об/мин	1000
Момент статического трения, Н·м:	
ЛШЗ.010.516	0,0005
Остальных типов	0,0025
Масса, кг	0,81

### Условия эксплуатации ВТ серии 5ВТ

Вибрационные нагрузки:	
Диапазон частот, Гц	До 2000
Ускорение, м/с <sup>2</sup>	100
Ударные нагрузки, м/с <sup>2</sup>	1500
Температура окружающей среды, °С	-60÷+70
Относительная влажность воздуха при температуре 40°С	98
%	
Гарантийная наработка, ч:	
ЛШЗ.010.516 и ЛШЗ.010.390	30000
остальных	5000

### Точностные показатели ВТ серии 5ВТ в режиме ТДП

Показатель	Норма для класса			
	1	2	3	10*
Погрешность следования транс	±1	±2	±4	±10

форматорной дистанционной передачи, угл. мин				
Остаточная ЭДС	26	26	26	50
Асимметрия нулевых положений ротора, угл. мин	—	—	—	$\pm 6,67$
Неравенство коэффициентов трансформации, %	—	—	—	0,2

\* значения приведены для ВТ типа 5БВТ-2.

#### Точностные показатели ВТ серии 5БВТ

Показатель	Норма для класса				
	0,02	0,05	0,10	0,3	0,4
Погрешность отображения синусной зависимости, %	$\pm 0,02$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	—	—
Асимметрия нулевых положений ротора, угл. мин	$\pm 0,67$	$\pm 1,67$	$\pm 3,33$	—	—
Остаточная ЭДС, %	0,02	0,05	5	—	—
Неравенство коэффициентов трансформации, %	1	2,5	5	—	—
Погрешность отображения линейной зависимости, %	—	—	—	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$
Остаточная ЭДС ЛВТ, %	—	—	—	0,1	0,2

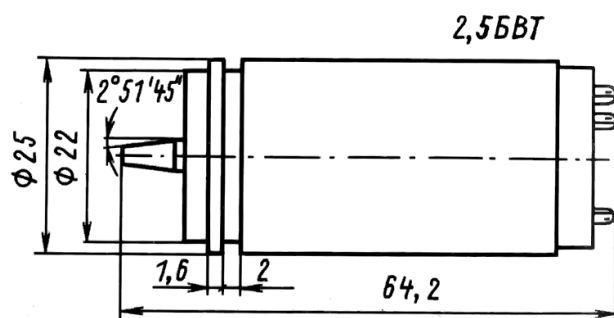
#### Технические данные ВТ серии 5БВТ

Обозначение (тип) ВТ	Назначение ВТ	Напряжение, В		$Z_{01}$ , Ом	К
		Номинальное	Рабочий диапазон		
ЛШЗ.010	СКВТ	40	0-40	200	0,56
	ВТДП-Д				
ЛШЗ.010	СКВТ	40	0-40	200	0,56
	ВТДП-Д				
ЛШЗ.010	СКВТ	40	0-40	200	0,56
	ВТДП-Д				
ЛШЗ.010	ЛВТ	40	0-40	200	0,72
	ВТДП-Д				
ЛШЗ.010	ВТДП-П	27	0-27	200	0,96
ЛШЗ.010	СКВТ	40	0-40	400	1
5БВТ-2	ВТДП-Д				
ЛШЗ.010	СКВТ	6	0-6	20	0,56
5БВТ-И					

Примечание: вращающийся трансформатор 5БВТ-И предназначен для работы в импульсном напряжении возбуждения с амплитудой импульсов не более 110В и действующем значении тока не более 0,5А.

### Бесконтактные вращающиеся трансформаторы серии 2,5БВТ

Вращающиеся трансформаторы этой серии представляют собой двухполюсную трёх- или четырёхобмоточную машину. Крепление — фланцевое, с упорным буртиком. Режим работы — продолжительный.



Технические данные, общие для ВТ серии 2,5БВТ

Погрешность отображения линейной зависимости 2,5БВТ-Л, %	±0,8
Остаточная ЭДС 2,5БВТ-Л, %	0,3
Номинальная частота напряжения возбуждения, Гц	400
Диапазон рабочих частот напряжения возбуждения, Гц	380-2100
Частота вращения вала, об/мин:	1000
Момент статического трения, Н·м	16
Масса, кг	0,13

Условия эксплуатации ВТ серии 2,5БВТ

Вибрационные нагрузки:	
Диапазон частот, Гц	До 3000
Ускорение, м/с <sup>2</sup>	200
Ударные нагрузки, м/с <sup>2</sup>	1500
Температура окружающей среды, °С, %	-60÷+100
Относительная влажность воздуха при температуре 35°С	98
%	
Гарантийная наработка, ч:	15000

Точностные показатели ВТ серии 2,5БВТ\*

Показатель	Норма для класса			
	3	5	10	20
Погрешность следования ТДП, угл. мин:				
2,5БВТ-2	—	—	±10	±20
остальных типов	±3	±5	±10	—
Асимметрия нулевых положений ротора, угл. мин	—	—	±7	±14
Остаточная ЭДС, %	—	—	0,2	0,3
Неравенство коэффициентов трансформации, %	—	—	0,2	0,3

Точностные показатели ВТ серии 2,5БВТ-С

Показатель	Норма для класса	
	0,1	0,2
Погрешность отображения синусной зависимости, %	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$
Асимметрия нулевых положений ротора, угл. мин	$\pm 3,33$	$\pm 6,67$
Остаточная ЭДС, %	0,1	0,2
Неравенство коэффициентов трансформации, %	0,1	0,2

Технические данные ВТ серии 2,5БВТ

Обозначение (тип) ВТ	Назначение ВТ	Напряжение, В		$Z_{01}$ , Ом	К	m, шт
		Номинальное	Рабочий диапазон			
2,5БВТ-Д	ВТДП-Д СКВТ	12	0-12	200	0,56	2
2,5БВТ-П	ВТДП-П	12	0-27	800	1	—
2,5БВТ-С	СКВТ	12	0-12	200	0,56	—
2,5БВТ-Л	ЛВТ	12	0-12	200	0,52	—
2,5БВТ-2	СКВТ	12	0-12	400	0,56	1
	ВТДП-дифференциал					

Технические данные ВТ серии СКТ

Обозначение (тип) ВТ	Назначение ВТ	Напряжение, В		I, мА	$U_{\text{вых max}}$ , В
		Номинальное	Рабочий диапазон		
СКТ-6465Д	ВТДП-Д СКВТ	36	34-38	170	8,5
СКТ-6465П	ВТДП-П СКВТ	36	34-38	50	6
СКТ-6465Д	ВТДП-Д, СКВТ	36	32,4-37,8	190	8,5
СКТ-6465П	ВТДП-П, СКВТ	36	32,4-37,8	50	6
СКТ-432Д	ВТДП-Д, СКВТ	36	32,4-37,8	75	8
СКТ-432П	ВТДП-П, СКВТ	40	36-44	50	28



**Технические данные тахогенераторов 1,6ТГП-2, 2,5ТГП-6, 2,5ТГП-10, ТП20-6-0,5, ТП32-25-0,1, ТП32-16-2,5 и ТП50-100-1**

Тип ТГП	$n_{ном},$ об/мин	$S, мВ/$ (об/мин)	$H, \%$	$A_T, \%$	$K_{пул},$	$R_n,$ кОм	$\delta U/T$ %/°C	$J_p, 10^3$ кг·м <sup>2</sup>	$M_{тр}$ $10^{-4}$ Н·м	$\tau_э, мс$	$t_r, ч$
1,6ТГП-2	3000	2	0,5	1	7	10	0,04	0,49	5	0,05	300
2,5 ТГП-6	6000	6	0,1	0,3	3	10	0,02	6,9	8	0,04	1000
2,5 ТГП-10	3000	10	0,5	1	10	6	0,04	8	20	—	1000
ТП20-6-0,5	3000	6	1	2	5	10	0,04	0,23	24,5	0,025	2000
ТП32-25-0,1	3000	25	0,1	0,25	5	25	0,02	29,5	49	0,01	2000
ТП32-16-2,5	3000	16	—	5	5	2	—	29,5	49	0,01	2000
ТП50-100-1	1500	100	—	2,5	2,5	10	0,1	360	270	25	10000

**Тахогенератор 4ТИ-3,2**

Тахогенератор 4ТИ-3,2 — асинхронный однофазный с полным немагнитным ротором. Крепление ТГА — фланцевое с упорным буртиком. Режим работы — продолжительный.

Технические данные тахогенератора 4ТИ-3,2

Напряжение возбуждения, В	115
Частота напряжения возбуждения, Гц	400
Потребляемый ток возбуждения, А	0,2
Номинальная частота вращения, об/мин	4000
Крутизна выходного напряжения, мВ/(об/мин)	3,2
Нелинейность, %	0,05; 0,1
Остаточная ЭДС, мВ	50; 65
Переменная составляющая остаточной ЭДС, мВ	5, 10
Температурный коэффициент выходного напряжения, %/°C	0,012
Температурный коэффициент фазы выходного напряжения, угл. мин/°C	3
Фазовая погрешность от изменения частоты вращения, угл. мин	20; 25
Сопротивление нагрузки, кОм	30
Момент статического трения, $10^{-4}$ Н·м:	0,98
Момент инерции ротора, $10^{-7}$ кг·м <sup>2</sup>	42
Масса, кг	0,32

## Лабораторная работа №5

### Разработка схемы измерительного комплекса и проведение записи расхода жидкости

#### I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Получение практического навыка в проведении эксперимента, связанного с измерением и регистрацией процесса, связанного с определением расхода жидкости. Регистрация проводится с помощью магнитоэлектрического осциллографа.

#### II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Измерение расхода жидкости производится путем определения изменения веса жидкости в процессе опорожнения резервуара с жидкостью. Для определения веса жидкости баллон помещается на конец консольно закреплённой балки. На внешнюю и внутреннюю поверхности балки наклеены два тензорезистора, включаемые в мостовую схему.

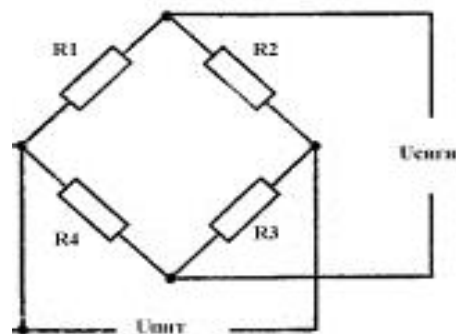
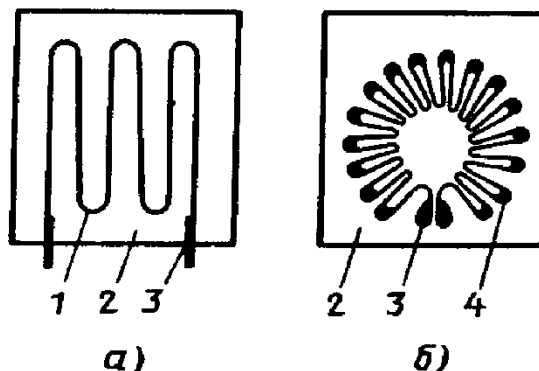


Рис. 1. Мост Уинстона. Здесь: R1 и R4 – тензорезисторы, R2 – постоянный, R3 – переменный, осуществляющий балансировку моста.

Источник питания  $U_{\text{пит}}$ , резисторы R3 и R4 находятся в тезостанции туда же и подается выходной сигнал  $U_{\text{сигн}}$ .

Тензорезистор предназначен для измерения статических или динамических деформаций в деталях и преобразует эти деформации в изменение активного сопротивления. В настоящее время применяют проволочные, фольговые и полупроводниковые тензорезисторы. Проволочные тензорезисторы состоят из петель тонкой проволоки (диаметром 0.02..0.05 мм), наклеенных на полоску тон-



кой бумаги (рис.1.11,а).

Рис. 1. Тензорезисторы: а - проволочный; б - фольговый; 1 - проволока; 2 - основа; 3 - выводы; 4 - фольга.

Эта полоска наклеивается на деталь и при деформации детали происходит деформация проволоки, при этом изменяются длина  $l$ , площадь поперечного сечения  $S$  и удельное сопротивление  $\rho$  проволоки. Сопротивление проволочного тензодатчика лежит в пределах 50...400 Ом. Фольговые тензодатчики являются развитием проволочных. В них вместо решетки из проволоки применена решетка из тонких полосок металлической фольги толщиной 2...5 мкм, наклеенная на пленочную основу. Практически можно изготовить решетки любого вида. В частности, для измерения крутящих моментов используется розеточная конструкция решетки (рис. 1б). Сопротивление фольгового тензодатчика составляет 50...200 Ом. Коэффициент тензочувствительности

$$K_T = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l}$$

где  $\Delta R / R$  – относительное изменение сопротивления тензодатчика;  $\Delta l / l$  – относительная деформация проволоки. Коэффициент тензочувствительности для проволочных и фольговых тензорезисторов равен 1,8... 2,5.

Полупроводниковые тензорезисторы изготовляют на основе германия или кремния. Они имеют ряд преимуществ: их коэффициент тензочувствительности в 60 раз выше, размеры решетки меньше (3...10мм), значение выходного сигнала больше. Однако их чувствительность к температуре в 10-20 раз выше, чем у проволочных.

Для измерения момента на валу используются четыре тензодатчика, которые наклеивают попарно на диаметрально противоположные стороны вала под углом 45° к его образующей. Тензодатчики подбираются и используются парами, чтобы обеспечить стабильность в условиях меняющихся температур. Тензодатчики соединяются по схеме моста Уитстона, при этом возможна калибровка шунтом. Вследствие того, что изменение сопротивления тензорезисторов при деформации составляет 0,2 – 0,3 процента от начального значения, то в тензостанции используются усилители постоянного тока с МДМ – модулятор – усилитель переменного тока - демодулятор. В них входной сигнал постоянного тока на входе преобразуется в переменный ток, усиливается обычным усилителем переменного тока и на выходе вновь преобразуется в постоянный ток. (МДМ – модулятор - демодулятор). Такие усилители имеют самый минимальный дрейф.

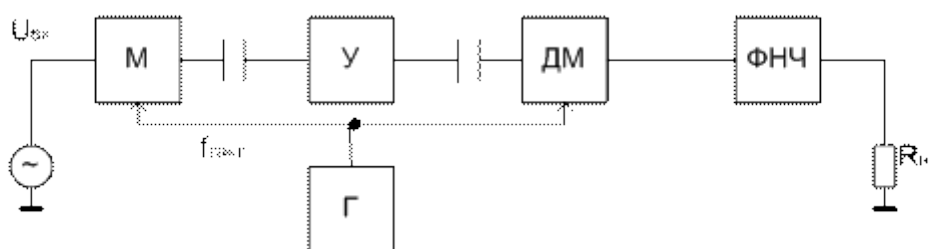


Рис.2. Структурная схема усилителя МДМ

Модулятор – каскад, преобразующий постоянный ток в переменный или управляемый напряжением генератор.

В простейшем случае модулятор – электронный ключ, который с тактовой частотой периодически замыкает входной сигнал на землю.

Сигнал переменного тока после М усиливается обычным усилением (ОЭ) до необходимой величины.

С помощью ДМ усиленный сигнал преобразуется в однополярный сигнал. В простейшем случае с помощью выпрямителя.

Для сохранения знака  $U_{вх}$  обычно М и ДМ управляется синхронно от задающего генератора с частотой модуляции  $f_T$ .

Частота модуляции ограничивается сверху максимальную усиливаемую частоту:

$$f_{\text{вх}}^{\text{max}} \leq 2f_T$$

Для получения сигнала постоянного тока на выходе используется ФНЧ (фильтр НЧ – сглаживающая цепь), который устраняет в выходном сигнале переменный сигнал с частотой модуляции. В простейшем случае ФНЧ – это интегрирующая RC – цепь.

В качестве М и ДМ используются ключевые элементы на БТ и ПТ.

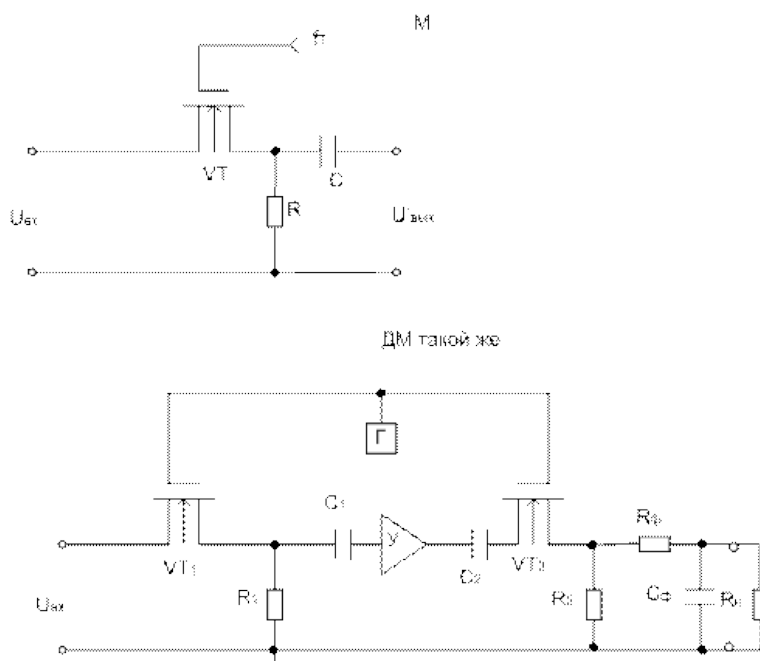


Рис. 3. Укуплённая принципиальная схема усилителя МДМ.

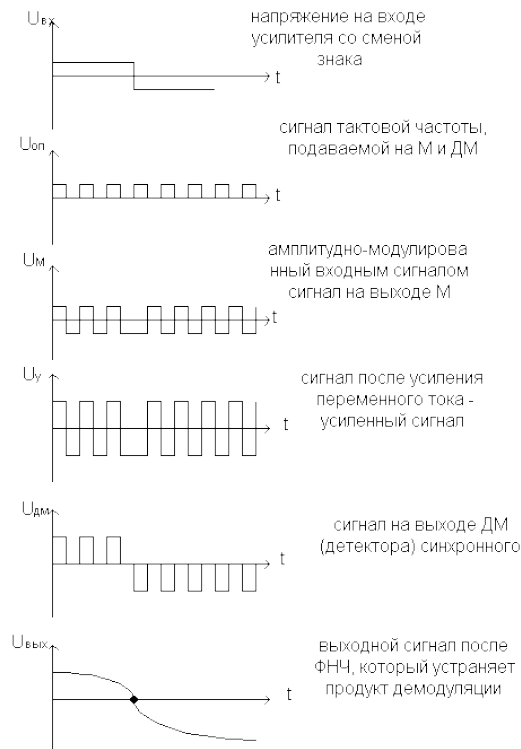


Рис. 4. Диаграмма сигналов в основных точках усилителя

Синхронный режим работы ключей в М и ДМ позволяет выделить на выходе знак входного сигнала.

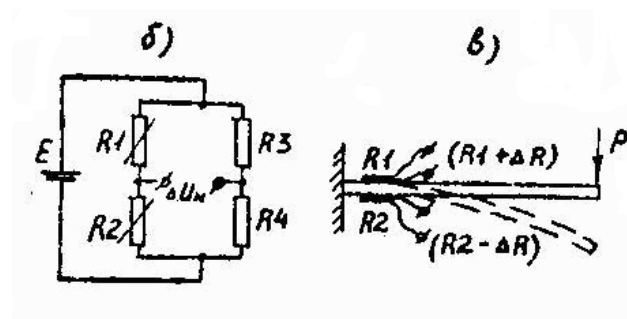
$U_{др} \sim (0,1 \div 1) \text{ мкВ/час}$  – достоинство

Недостаток – малая полоса пропускания

$f_T \sim 10 \text{ кГц}$  (обычно)

### III. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

1. Баллон для жидкости, помещенный на конце консольно закреплённой балки.



2. Тензостанция «Топаз 2».
3. Разновес.
4. Осциллограф АОС-5062.
5. Монтажные провода.
6. Источники питания.

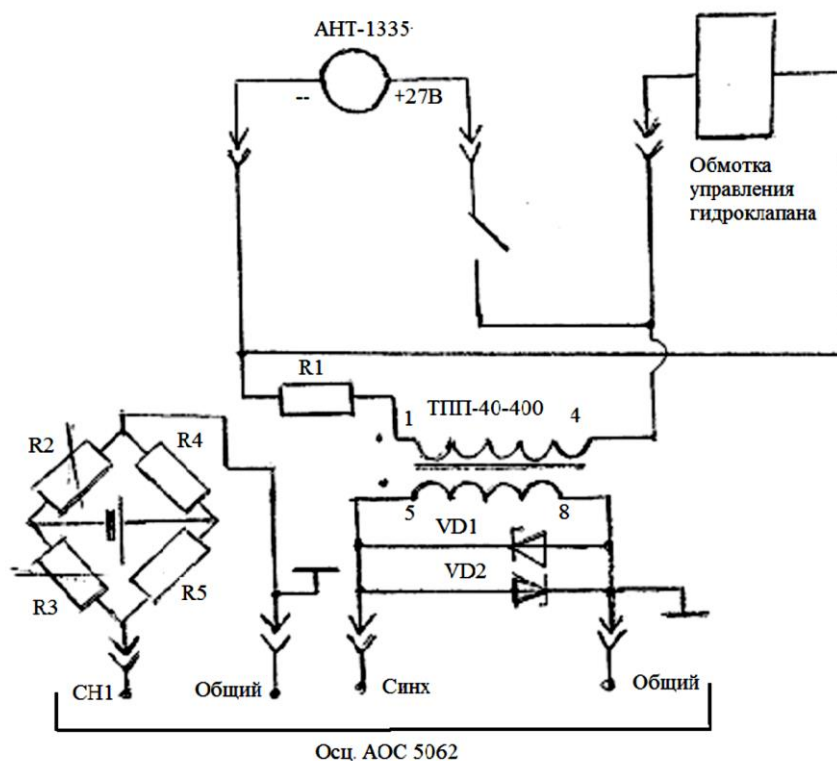


Рис. 5. Схема коммутации установки. Здесь: резисторы R2 и R3 – тензорезисторы, источник питания АНТ-1335, схема синхронизации (R1, ТПП-40-400, VD1, VD2)

#### IV. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить теоретические сведения, представленные в настоящих методических указаниях и рекомендованной литературе.

2. Сформировать отчет по работе с возможностью дополнения его соответствующими экспериментальными данными.

3. Зарегистрировать закон изменения расхода жидкости в процессе опорожнения резервуара с жидкостью.

#### V. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию, характеристики и схему подключения осциллографа.
2. Составить измерительную цепь, включающую тензостанцию, источник питания, обмотку питания гидроклапана и осциллограф.
3. Произвести тарировку измерительной цепи и выбрать основные параметры вертикального канала осциллографа исходя из расчета получения максимального масштаба записи.
4. Выбрать скорость регистрации исходя из заданной точности измерения временных интервалов.
5. Произвести регистрацию изменения расхода жидкости с помощью осциллографа.
6. Обработать осциллограмму.

## **VI. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА**

Отчет должен содержать:

- принципиальную схему лабораторного стенда;
- назначение основных элементов стенда;
- тарифовочную таблицу;
- осциллограмму исследуемого процесса.

## **VII. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1. Назначение, устройство и основные разновидности тензорезисторов.**
- 2. Приведите пример использования в инженерной практике измерительного комплекса расхода жидкости.**
3. Каков максимальный температура и вес жидкости.
4. Чему равно время опорожнения резервуара.
5. Как определить скорость опорожнения резервуара.

## **VIII. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Воротников, С.А. Информационные устройства робототехнических систем : учебное пособие для вузов / С.А.Воротников .— М. : Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2005 .— 384с. : ил. — (Робототехника) .— Библиогр.в конце кн. — ISBN 5-7038-2207-6 /в пер./ : 191.00..
2. Электромеханические системы/Г.П. Елецкая, Н.С. Илюхина, А.П. Панков. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. - 214 с. (20 экз.)
3. Дворяшин, Б. В. Метрология и радиоизмерения: учеб. пособие для вузов / Б. В. Дворяшин .— М. : Академия, 2005 .— 304с. : ил. (13 экз)
4. Котюк, А.Ф. Датчики в современных измерениях / А.Ф.Котюк .— М. : Радио и связь: Горячая линия-Телеком, 2006 .— 96с.: ил. (5 экз.)
5. Фрайден Д. Ж. Современные датчики: справочник / Д.Фрайден;пер.с англ.Ю.А.Заболотной;под ред.Е.Л.Свинцова .— М. : Техносфера, 2006 .— 592с.
6. В. П. Дьяконов. Современная осциллография и осциллографы. Серия «Библиотека инженера». - М.: СОЛОН-Пресс, 2013. - 320 с: ил.

## Лабораторная работа №6

### Разработка схемы измерительного комплекса и проведение записи нестационарных температур

#### I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Получение практического навыка в проведении эксперимента, связанного с измерением и регистрацией теплофизической координаты  $T(t)$  ° помощью термопары и магнитоэлектрического осциллографа.

#### II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Принцип измерения температур термоэлектрическими преобразователями основан на явлении термоэлектричества, открытом в 1858г. русским академиком Ф. Эпинусом.

Это явление объясняется тем, что все металлы состоят из положительно заряженных неподвижных ионов и свободных отрицательно заряженных электронов, которые можно уподобить свободному газу, заполняющему межмолекулярное пространство. В различных металлах плотность и давление электронного газа при одной и той же температуре, различны. Если сварить или спаять две проволоки А (медную) и В (платиновую), как показано на рис.1, то

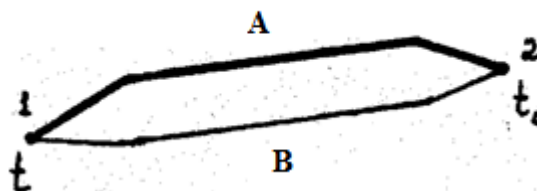


Рис. 1. Пример реализации простейшего термоэлектрического преобразователя

электроны из медной проволоки начнут переходить в платиновую. Если подогреть спай 1 до температуры  $t$  при этом температура  $t_0$  спая 2 останется неизменной ( $t_0 < t$ ), то в цепи, оставленной из проводников А и В, возникает ток, т.е. цепь станет генератором электроэнергии. Проводники в рассматриваемой цепи носят название термоэлектродов, а их соединения – термоспаев.

Как показали многочисленные опыты, для термоэлектрической цепи справедливо уравнение

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{AB}(t_0), \quad (1)$$

где  $E_{AB}(t, t_0)$  – ТЭДС в цепи при направлении от А к В;



$e_{AB}(t)$  – ТЭДС в спаяе 1;

$e_{AB}(t_0)$  – ТЭДС в спаяе 2;

ТЭДС – термоэлектродвижущая сила.

При равенстве температур обоих спаев равна нулю, т.е., если  $t = t_0$

$$E_{AB}(t, t_0) = 0$$

В этом случае

$$e_{AB}(t) = -e_{AB}(t_0)$$

и, следовательно, уравнение (I) можно записать так:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0), \quad (2)$$

Уравнение (2) дает возможность определить температуру, если известны ТЭДС цепи и температура холодного спая. Величина  $E_{AB}(t, t_0)$  может быть измерена с помощью пирометрического милливольтметра или потенциометра. Температуру  $t_0$ , холодного спая желательно в процессе измерений поддерживать постоянной и строго определенной. Лучше всего спай (2) поместить в среду, имеющую температуру равную нулю, например, в воду с тающим льдом.

Материалы термоэлектродов подбирают так, чтобы величина  $E_{AB}(t, t_0)$  была возможно большей.

Таким образом, измерение температуры  $t$  в принципе возможно с помощью термоэлектрической цепи.

Для того чтобы измерить ТЭДС, необходимо в цепь термопары ввести электроизмерительный прибор. Последнее можно выполнить либо по схеме «а», разомкнув холодный спай, либо по схеме «б», включив измеритель в рассечку одного из электродов (рис. 2).

По схеме «а» вместо одного холодного спая мы будем иметь два (2 и 2'), а по схеме «б» - два нейтральных (3 и 4).

Для того чтобы включение в термоэлектрическую цепь электроизмерительного прибора не изменила значения ТЭДС, необходимо,

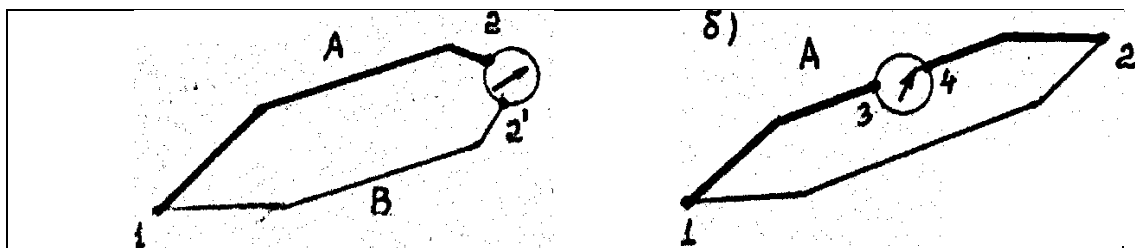


Рис.2. Схема включения измерительного прибора

чтобы концы присоединенного прибора (2 и 2' или 3 и 4) и одинаковую температуру.

Любая термоэлектрическая цепь характеризуется следующими основными свойствами:

1. Абсолютная величина ТЭДС не зависит от распределения температур вдоль однородных термоэлектродов.

Это значит, что величина ТЭДС не изменится, если, например, нагревать какую-то произвольную точку термоэлектрода.

2. Величина ТЭДС не изменится при любом включении произвольного третьего проводника в разрыв термоцепи.

### III. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

1. Модель рабочей полости двигателя.

2. Рабочая термопара.

3. Контрольная термопара с вторичным прибором.

4. Осциллограф АОС-5062.

5. Монтажные провода.

6. Источники питания 27В(АНТ-1335), 27В –силовое(APS-3320).

Перед проведением эксперимента необходимо изучить работу схемы.

Принципиальная схема установки показана на рис.1

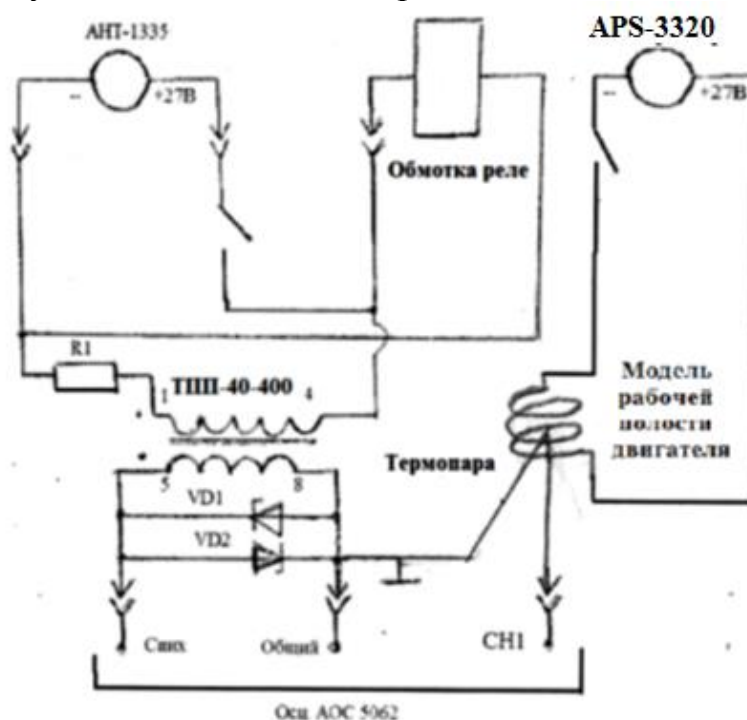


Рис. 3. Принципиальная схема установки. Здесь: АНТ-1335 –источник питания обмотки реле, мощный источник постоянного тока (APS-3320, модель рабочей полости двигателя, схема синхронизации (R1, ТПП-40-400, VD1, VD2)

Вспомогательное реле необходимо для подключения мощного источника питания постоянного тока, так как выключатель не предназначен для переключения больших токов.

#### IV. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

**1. Изучить теоретические сведения, представленные в настоящих методических указаниях и рекомендованной литературе.**

**2. Сформировать отчет по работе с возможностью дополнения его соответствующими экспериментальными данными.**

3. Зарегистрировать закон изменения  $T(t)$  в переходном режиме работы модельного двигателя.

#### V. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Составить измерительную цепь, включающую термопару и осциллограф.

2. Произвести тарировку измерительной цепи и выбрать основные параметры вертикального канала осциллографа исходя из расчета получения максимального масштаба записи.

3. Выбрать скорость регистрации исходя из заданной точности измерения временных интервалов.

4. Произвести регистрацию  $T=f(t)$  с помощью осциллографа.

5. Обработать осциллограмму.

#### VI. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- принципиальную схему лабораторного стенда;
- назначение основных элементов стенда;
- тарировочную таблицу;
- осциллограмму исследуемого процесса.

#### VII. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**1. Перечислите несколько типов сплавов, применяемых для изготовления термопар, и укажите температурные диапазоны их использования.**

**2. Приведите пример использования в инженерной практике измерительного комплекса записи нестационарных температур.**

3. Какова максимальная температура в рабочей полости двигателя.

4. Чему равно время выхода двигателя на установившийся режим.

5. Как определить начальную скорость нарастания температуры.

6. Чему равна величина температуры в рабочей полости двигателя спустя 10 с начала работы.

#### VIII. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воротников, С.А. Информационные устройства робототехнических

систем : учебное пособие для вузов / С.А.Воротников . - М. : Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2005 .- 384с. : ил. - (Робототехника) . - Библиогр.в конце кн. - ISBN 5-7038-2207-6 /в пер./ : 191.00..

2. Электромеханические системы/Г.П. Елецкая, Н.С. Илюхина, А.П. Панков. –Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. - 214 с. (20 экз.)

3. Дворяшин, Б. В. Метрология и радиоизмерения : учеб. пособие для вузов / Б. В. Дворяшин .- М. : Академия, 2005 .— 304с. : ил. (13 экз)

4. Котюк, А.Ф. Датчики в современных измерениях / А.Ф.Котюк .— М. : Радио и связь: Горячая линия-Телеком, 2006 .— 96с.: ил. (5 экз.)

## Лабораторная работа №7

### Определение параметров механического движения

#### I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Получение практического навыка в проведении эксперимента, связанного с измерением и регистрацией токов параметров механического движения с помощью электронного осциллографа.

#### II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Для измерения и регистрации параметров любого движения, в том числе и механического, с помощью электронного осциллографа нужно необходимо вначале включить развертку, то есть изменение параметров регистрируемого процесса должно начаться несколько позже запуска развертки. Для этого необходимо до начала процесса записи подать импульс для запуска развертки, работающей в ждущем режиме, перед изменением параметров исследуемого процесса. Один из вариантов схемы синхронизации и подключения осциллографа для измерения и регистрации параметров механического движения показан на рис. 1.

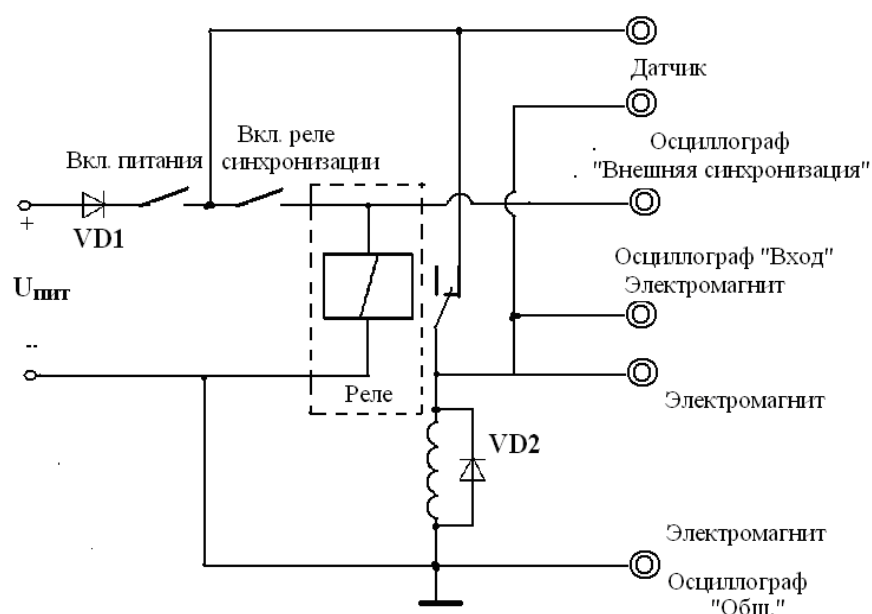


Рис. 1. Схема синхронизации и подключения осциллографа для измерения и регистрации параметров механического движения

#### III. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

1. Лабораторная установка для определения высоты падения объекта и ускорение свободного падения.
2. Электронный осциллограф с записью процесса.
3. Монтажные провода.

4. Источник питания постоянного тока.

#### IV. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Изучить теоретические сведения, представленные в настоящих методических указаниях и рекомендованной литературе.
2. Определить высоту падения объекта и ускорение свободного падения по характерным точкам начала и конца процесса и по величине высоты падения.

#### V. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Предварительно измерить высоту падения грузика для определения ускорения свободного падения.
2. Составить измерительную цепь, включающую осциллограф, схему синхронизации, релейно-контактный датчик, электромагнит и источник питания, имеющий напряжение (25-27)В.
3. Установить на осциллографе ждущую развертку длительностью 50 миллисекунд.
4. Включить на передней панели источник питания и установить на электромагните грузик.
5. Включить реле синхронизации.
6. Обработать осциллограмму, то есть определить длительность процесса и рассчитать высоту падения.
7. Рассчитать величину ускорения свободного падения.

#### VI. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- принципиальную схему исследуемой электрической цепи;
- осциллограмму исследуемого процесса;
- необходимые расчеты.

#### VII. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. **Приведите пример использования в инженерной практике лабораторной установки для определения высоты падения объекта и ускорения свободного падения.**
2. Чем можно объяснить неточность измерения?
3. Как можно повысить точность измерения.

#### VIII. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колчин А.В. Датчики средств диагностирования машин. – М.: Машиностроение, 1984г.-120 с.

