

**Методические указания по выполнению лабораторных работ  
по курсу «Автоматизация производственных процессов  
в машиностроении»**

Документ подготовил:  
к.т.н., профессор кафедры ТУК

В.А. Купряшин

1.09.2010 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ .....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ЗНАКОМСТВО С ПРОГРАММНЫМ ПРОДУКТОМ Electronics Workbench..	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА САР .....	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ .....	27
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ .....	31
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 КОМПЕНСАЦИОННЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ.....	34
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ .....	38
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	42
ЛИТЕРАТУРА .....	46

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### ЗНАКОМСТВО С ПРОГРАММНЫМ ПРОДУКТОМ Electronics Workbench

#### 1. Общие сведения

Система Electronics Workbench предназначена для проектирования цифровых и аналоговых схем. Она позволяет собрать схему и смоделировать ее работу, а также вывести результаты проектирования на принтер.

##### 1.1. Работа с мышью

Большинство действий выполняют, используя левую кнопку мыши. Правую кнопку мыши используют для выбора дополнительных компонентов или приборов. Средняя кнопка мыши не используется.

Форма указателя изменяется, чтобы показать информацию о том, какое действие Вы можете выполнить. Например, когда Вы указываете на компонент, указатель становится рукой, чтобы показать, что Вы можете теперь перемещать компонент. Когда компьютер обрабатывает информацию, указатель принимает форму песочных часов.

Чтобы переместить компонент, инструментальную пиктограмму (значок прибора) или окно, надо выделить этот компонент, нажать левую кнопку мыши и, удерживая ее, перемещать компонент. Когда объект окажется в том месте, где Вы хотите, отпустите кнопку мыши.

##### 1.2. Выбор более одного объекта

Имеются два способа выбрать более одной составляющей или инструментальной пиктограммы в рабочей области окна.

**Первый способ.** После выбора первого объекта, используя левую кнопку мыши, выберите дополнительные объекты, нажимая правую кнопку мыши.

**Второй способ.** Установите курсор мыши в верхний левый угол выделяемой группы объектов и, удерживая левую кнопку нажатой, перемещайте курсор вниз по диагонали до появления прямоугольника.

Чтобы перемещать группу выделенных объектов относительно рабочей области окна, укажите на один из них, нажмите и, удерживая левую кнопку мыши, переместите выделенные объекты.

## Описание внешнего вида окна Electronics Workbench

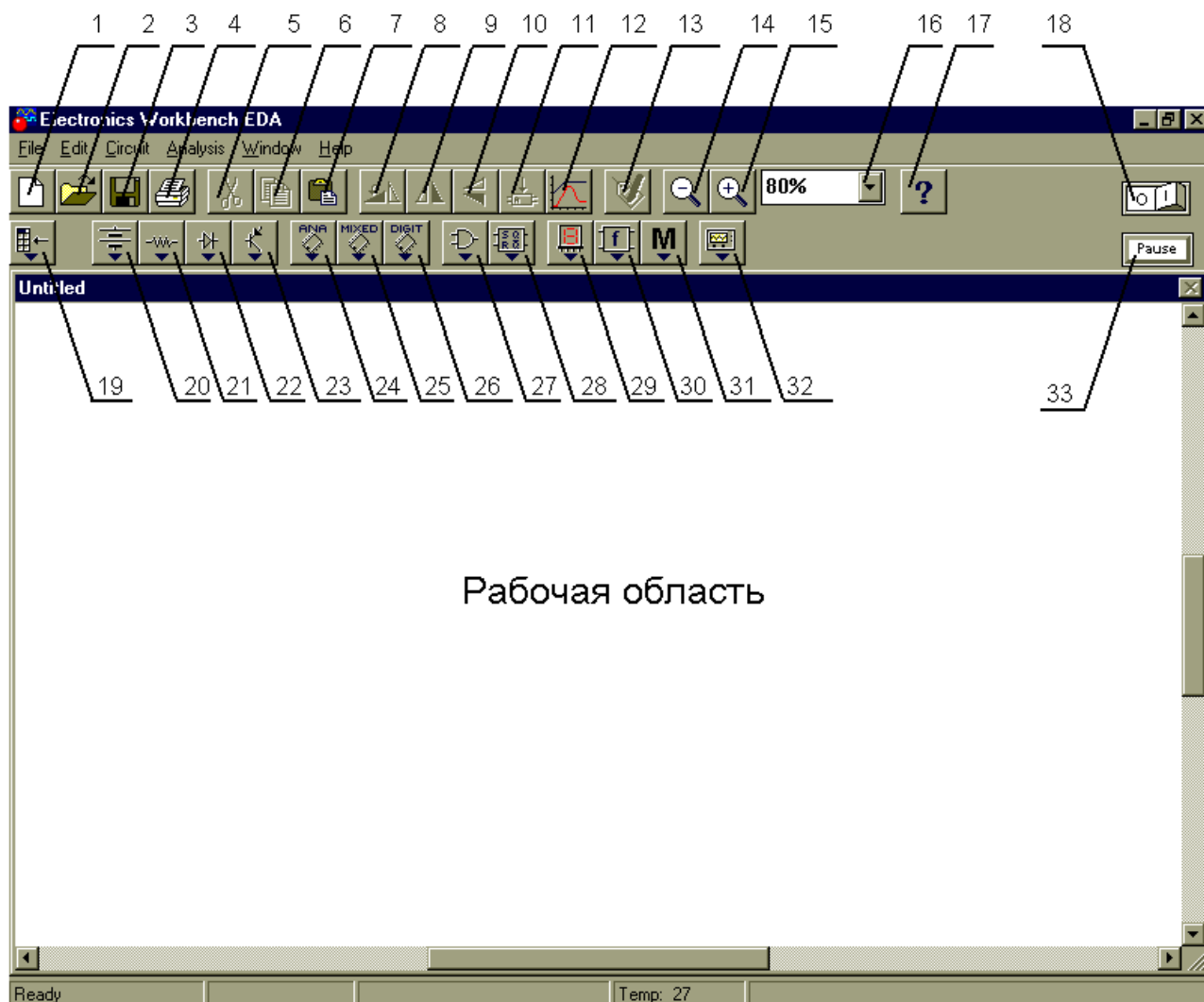


Рис.1. Внешний вид окна Electronics Workbench

- |   |                           |
|---|---------------------------|
| 1 - создание новой схемы                  | 18 - кнопка включения     |
| схемы                                     |                           |
| 2 - открытие сохраненной схемы            | 19 -панель «Избранное»    |
| 3 - запись схемы                          | 20 - панель «Источники    |
| питания»                                  |                           |
| 4 - вывод на печать                       | 21 - панель «Базовые      |
| элементы»                                 |                           |
| 5 - вырезать в буфер выделенный элемент   | 22 - панель «Диоды»       |
| 6 - копировать в буфер выделенный элемент | 23 - панель «Транзисторы» |
| 7 - вставить из буфера                    | 24 - панель «Аналоговые   |
| элементы»                                 |                           |

8 - поворот выделенного элемента на 90°	25	-	панель «Преобразователи»
9 - вертикальное отражение элемента	26	-	панель «Цифровые элементы»
10 - горизонтальное отражение элемента	27	-	панель «Логические операции»
11 - создать подсхему	28	-	панель «Триггеры»
12 - показать графики	29	-	панель «Индикаторы»
13 - показать свойства элемента	30	-	панель «Функциональные узлы»
14 - уменьшить масштаб изображения схемы	31	-	панель «Различные элементы»
15 - увеличить масштаб изображения схемы	32	-	панель «Измерительные приборы»
16 - масштаб изображения схемы	33	-	кнопка «Пауза»
17 - помощь (на английском языке)			

### 1.3. Использование меню

Вы можете выбирать команды из меню Electronics Workbench

<i>File</i>	<i>Файл</i>
<i>Edit</i>	<i>Редактирование</i>
<i>Circuit</i>	<i>Схема</i>
<i>Window</i>	<i>Окно</i>
<i>Help</i>	<i>Справка</i>

Имеются два способа выбирать команды из меню Electronics Workbench:

1. Щелкнуть (подвести указатель в нужное место и нажать левую кнопку мыши) на заголовке меню, появится перечень команд. Затем щелкните на команде, которая вам нужна.

2. Нажать ALT+ подчеркнутый символ в меню, которое Вы хотите открыть. (например, чтобы открыть меню Файл, нажмите ALT и, удерживая

данную кнопку, нажмите F), или нажать подчеркнутый символ в команде, которую Вы хотите выбрать.

Команда, которая выделена серым фоном, является недоступной, и не может быть выбрана в данный момент.

#### **1.4. Использование окон**

Практически любая информация в данной системе отображается в окнах (рабочая область, панель элементов, приборы, подсхемы, буфер обмена, описание и т.д.).

Не все окна одинаковы, но они часто совместно используют общие особенности.

Чтобы перемещать окно, нужно ухватиться за его заголовок, и перетащить окно в нужное место.

Чтобы закрыть окно, дважды нажмите левую кнопку мыши (двойной щелчок), поместив курсор в верхнем левом углу.

Чтобы изменить размеры окна, переместите его сторону или угол в нужном направлении, ухватившись за границу она или угол соответственно.

Чтобы сделать окно активным, выполните щелчок внутри окна.

#### **1.5. Рабочая область окна**

Рабочая область окна - большая центральная область дисплея. Она подобна макету, на котором Вы формируете и проверяете схемы.

Рабочая область окна отображается в окне, которое может перемещаться, изменяться и прокручиваться подобно другим окнам в Инструментальных средствах Electronics Workbench. Если рабочая область окна покрыта другими окнами, Вы можете поместить ее поверх всех окон, щелкнув на название окна, или выбирая Circuit из меню Window.

#### **1.6. Инструментальные средства Electronics Workbench**

Инструментальные средства Electronics Workbench подобны реальным инструментальным средствам электроники. Все, что Вы используете для формирования и проверки схемы, легко найти на экране.

Большая центральная область - рабочая область окна, где Вы формируете и проверяете схему.

Около окна рабочей области находится панель элементов, из которых строится электронная схема.

Наверху дисплея Вы найдете меню, инструментальные пиктограммы и переключатель питания.

### **1.7. Формирование и тестирование схемы**

1) Переместить компоненты из панели элементов.

2) Поместить их в область окна.

3) Как только компоненты помещены в рабочую область окна, Вы можете соединить их проводами. Для этого:

\* поместите стрелку мыши на контакт одного из элементов и нажмите левую кнопку - высветится темный квадрат;

\* удерживая кнопку, перемещайте мышь - появится провод;

\* протяните провод на контакт другого компонента. Когда контакт высветится, отпустите кнопку мыши. Провод автоматически соединит два контакта.

Чтобы соединить два провода, используйте узел (черная точка в панели элементов). Узел может соединить четыре провода, один на каждой стороне.

Чтобы вставлять компонент в провод, переместите его на провод и отпустите кнопку мыши.

4) Присоединить тестирующие приборы

Пиктограммы приборов теста находятся наверху дисплея.

Использование прибора:

4.1) Переместить пиктограмму прибора к рабочей области окна.

4.2) Присоединить пиктограмму прибора к схеме.

4.3) Щелкнуть на пиктограмме прибора, чтобы увидеть сам прибор.

4.4) Перетащить прибор, зацепив его за заголовок при необходимости (если прибор собой что-либо закрыл).



4.5) Скорректировать средства управления приборами. Органы управления имеют вид реальных органов управления. Каждый прибор различен, но имеются некоторые общие принципы для установки средств управления. Если на приборе имеются кнопки, выберите нужную и активизируйте ее, щелкнув на ней.

Изменения значений параметров настройки:

- \* Нажать вверх и вниз по стрелкам около значения.
- \* На некоторых приборах Вы можете напечатать новое значение.

Чтобы удалить прибор, переместите пиктограмму обратно к верхней части дисплея (откуда Вы ее взяли).

#### 5) Активизировать схему

Как только Вы сформировали схему, ее можно активизировать.

Чтобы активизировать схему, нажмите переключатель питания в верхнем правом углу дисплея. Вы можете также активизировать ее, нажав CTRL+G.

Когда моделирование закончено, переключатель питания выключается автоматически и результаты теста отображаются на приборах, присоединенных к схеме.

Чтобы остановить активацию, нажмите переключатель питания или выберите STOP или Pause из меню CIRCUIT.

## 2. Electronics Workbench для разработки аналоговых схем

### Описание инструментов

Аналоговый модуль имеет четыре прибора, расположенных в полосе меню:

<i>Multimeter</i>	<i>Мультиметр</i>
<i>Function generator</i>	<i>Функциональный генератор</i>
<i>Oscilloscope</i>	<i>Осциллограф</i>
<i>Bode plotter</i>	<i>Прибор для построения амплитудных и фазовых характеристик</i>

и два прибора в панели элементов

<i>Voltmetr</i>	<i>Вольтметр</i>
<i>Ammeter</i>	<i>Амперметр</i>

## 2.1. Мультиметр

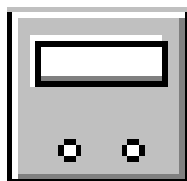


Рис. 2. Пиктограмма мультиметра

Используйте мультиметр, чтобы измерить напряжение, сопротивление или коэффициент ослабления сигнала между двумя точками схемы в dB.

## 2.2. Функциональный генератор

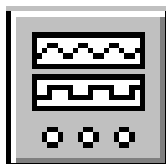


Рис. 3. Пиктограмма функционального генератора

Функциональный генератор - источник напряжения, который подает на схему аналоговые сигналы в форме синуса, квадратной и треугольной формы. Вы можете корректировать частоту сигнала, цикл режима работы, амплитуду и смещение. Вы можете изменять частоту от 1 Hz до 999 MHz (выполните двойной щелчок на пиктограмме генератора и установите нужную частоту при помощи кнопок с изображением стрелок).

## 2.3. Осциллограф

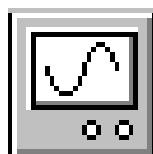


Рис. 4. Пиктограмма осциллографа

Осциллограф предназначен для визуального отображения информации. Для этого достаточно подключить входы осциллографа к интересующим точкам схемы. Осциллограф двухлучевой. Входы осциллографа находятся в нижней части прибора: первый слева, второй справа. Для нормальной работы

осциллографа необходимо один из боковых входов осциллографа соединить с общим проводом («землей»). Для визуализации диаграммы необходимо дважды нажать на пиктограмму прибора.

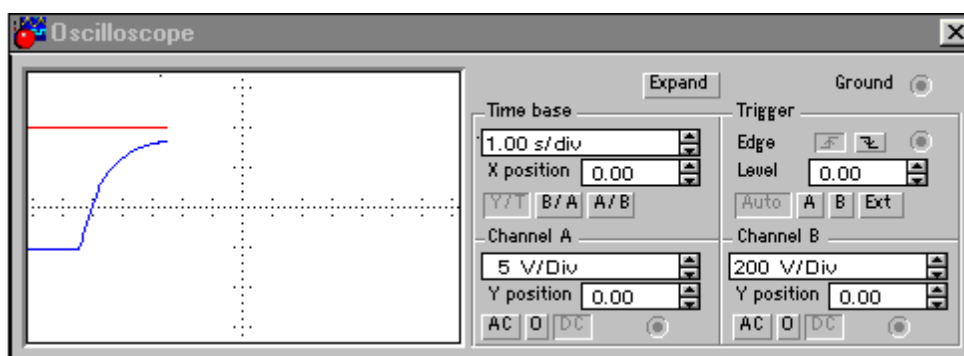


Рис. 5. Рабочее окно осциллографа

На экране появится рабочее поле прибора, причем первый канал обозначен буквой «А», а второй - «В». Для изменения масштаба по оси Y (оси напряжений) необходимо подвести курсор к кнопке изменения масштаба соответствующего канала и нажать соответствующую кнопку



Рис. 6. Пиктограмма кнопки изменения масштаба по оси Y

Развертка по оси времени (ось X) для обоих каналов одна и изменение по этой оси осуществляется нажатием кнопки



Рис. 7. Пиктограмма кнопки изменения масштаба по оси X

находящейся рядом с окном отображения масштаба по оси X. Осциллограф отображает амплитудное значение напряжения  $U_m$ . Он имеет два входных канала, канал А и канал В, так что два различных сигнала могут отображаться одновременно.

Опции относительно средств управления осциллографа:

определение осей: Y/T, A/B, B/A

установка масштаба времени, V/Div

определение начала осей: X Pos и Y Pos

входная связь: AC, 0, или DC (открытый или закрытый входы).

Вы можете корректировать средства управления осциллографа, в то время как схема активизирована. В процессе моделирования Вы можете перемещать исследования в другие пункты (точки) схемы. В обоих случаях дисплей осциллографа повторно выводит информацию.

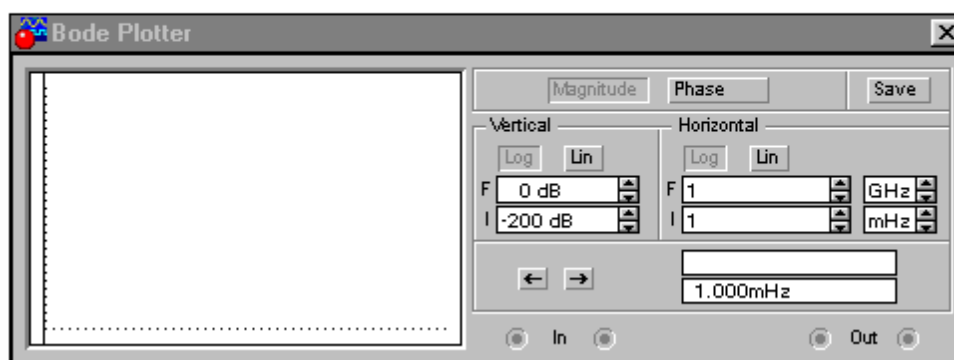
Если Вы хотите рассмотреть формы сигнала, то включите PAUSE в диалоговом окне Analysis Options или нажмите кнопку PAUSE.

Совет: если Вы не видите форму сигнала на экране осциллографа, нажмите кнопку Auto.

## 2.4. Прибор для построения амплитудных и фазовых характеристик (Bode Plotter)



а) обычный режим



б) режим большого экрана

Рис. 8. Bode Plotter

Может измерять отношение (коэффициент) величин (усиление напряжения, в децибеллах) или сдвиг фаз.

## 2.5. Вольтметр

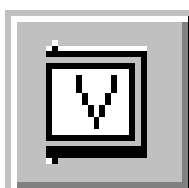


Рис. 9. Пиктограмма вольтметра

Предназначен, чтобы измерять разность потенциалов между точками схемы. Подсоединяйте вольтметр параллельно точкам, между которыми Вы хотите измерить напряжения. Сторона с более темной рамкой - отрицательный вход. Вы можете использовать неограниченное количество вольтметров.

Чтобы определить, должен ли вольтметр работать с открытым или закрытым входом (AC или DC), дважды щелкните на его пиктограмме и выберете режим, который Вы хотите установить.

Вольтметр имеет очень высокое внутреннее сопротивление (1МОм), которое не оказывает никакого шунтирующего влияния на схему. Вы можете увеличить это сопротивление.

Совет: Вы можете использовать мультиметр как вольтметр.

## 2.6. Амперметр

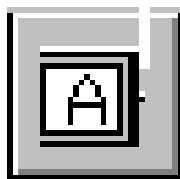


Рис. 10. Пиктограмма амперметра

Внутреннее сопротивление амперметра стремится к 1 мОм.

Сторона с более темной рамкой - отрицательный контакт. Вы можете использовать сколько угодно амперметров.

Совет: Вы можете использовать мультиметр как амперметр.

## 2.7. Генератор сигналов

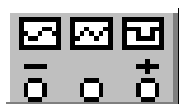


Рис. 11. Пиктограмма генератора сигналов

Для изменения активного напряжения генератора необходимо дважды нажать на пиктограмму генератора, после чего соответствующим нажатием клавиш можно установить форму сигнала, амплитуду и фазу. Для получения противофазных напряжений средний вывод генератора нужно соединить с общим выводом. Тогда на крайних выводах будут присутствовать

противофазные напряжения. Если сигнал нужен однофазный, то крайний левый выход не используется. Генератор выдает значение напряжений  $U_m$ .

## 2.8. Генератор фазных сигналов



Рис. 12. Пиктограмма генератора фазных сигналов

Генератор предназначен для получения синусоидального напряжения амплитудой  $U = \sqrt{2}U_m$ . Фазу и частоту генератора можно изменить, если дважды нажать на пиктограмму генератора и установить необходимые значения в соответствующих окнах.

## 2.9. Изменение параметров элементов схемы

Для изменения параметров любого из элементов схемы (резистора, транзистора, диода, операционного усилителя и т.д.) необходимо выполнить на нем двойной щелчок:

Наименование окна	Последовательность действий	Примечание
Окно параметрами	с	Вместо старого значения набивается новое
Имя элемента (models)	Выбирается подходящий элемент, а в случае отсутствия такого можно создать свой элемент или изменить существующий	Переключение между параметрами производится кнопкой TAB

Для создания собственного элемента, необходимо щелкнуть на любом элементе, нажать кнопку COPY (щелкнуть на ней), нажать кнопку PASTE и в появившемся окне ввести имя нового компонента, после чего нажать кнопку ОК. Теперь можно его редактировать, для чего нажимают кнопку EDIT и вводят новые параметры элементы. Пример приведен на рисунке (см. ниже).

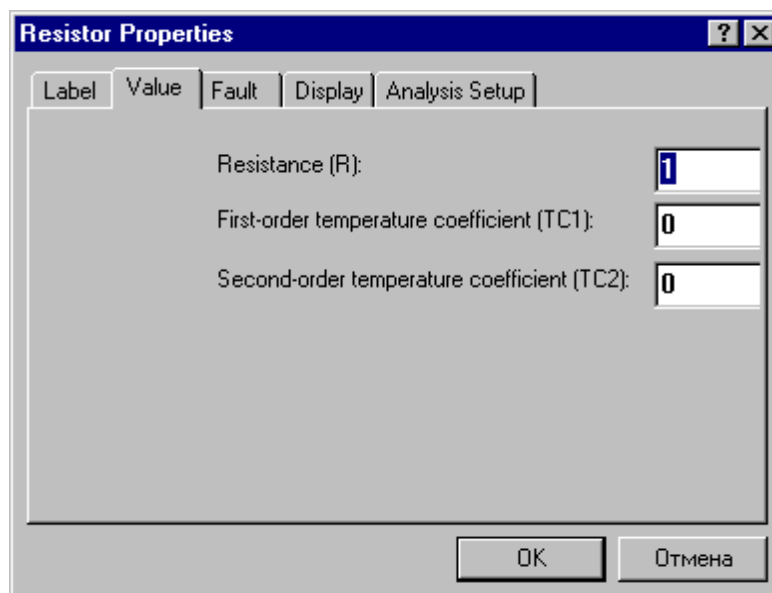


Рис. 13. Диалоговое окно свойств элемента

### 3. Electronics Workbench для разработки цифровых схем

#### Описание инструментов

<i>Voltmetr</i>	<i>Вольтметр</i>
<i>Word generator</i>	<i>Генератор слов</i>
<i>Logic analyzer</i>	<i>Логический анализатор</i>
<i>Logic converter</i>	<i>Логический преобразователь</i>

#### 3.1. Вольтметр

Используйте вольтметр, чтобы определить напряжение в любой точке, где размещен узел или контакт.

Высокие уровни отображаются как +5 В. Низкие уровни отображаются как 0 В.

Сторона с темной рамкой - минусовой контакт вольтметра.

#### 3.2. Генератор Слов



Рис. 14. Пиктограмма генератора Слов

Используйте генератор слов, чтобы послать подборку битов в схему. Если дважды нажать на генераторе Слов, то появится рабочее поле генератора. Левая часть содержит 16 столбцов по 8 бит в каждом. Когда схема активизирована, столбцы битов посылаются в порядке очередности.

Генератор Слов также имеет выход, относительно которого можно синхронизироваться.

### 3.3. Логический анализатор



Рис. 15. Пиктограмма логического анализатора

Логический анализатор на восьми каналах отображает сигналы (фактически показывает временную диаграмму работы схемы), а также дает их двоичные и шестнадцатеричные представления. Если дважды нажать на пиктограмму логического анализатора, то появится рабочее поле анализатора. Левая половина логического анализатора отображает состояние (высокое или низкое) сигналов, полученных на каждом входном канале. Пронумерованные контакты в нижней части прибора соответствуют горизонтальным строкам экрана и показывают двоичное значение каждого бита. Шестнадцатеричный экран справа транслирует двоичное значение в шестнадцатеричное значение. Кнопка Clear сбрасывает дисплей логического анализатора.

### 3.4. Логический преобразователь

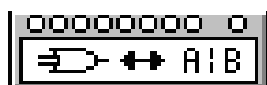


Рис. 16. Пиктограмма логического преобразователя

Логический преобразователь - мощное компьютерное устройство, которое выполняет некоторые преобразования представленной схемы. Вы можете использовать его, чтобы преобразовать:

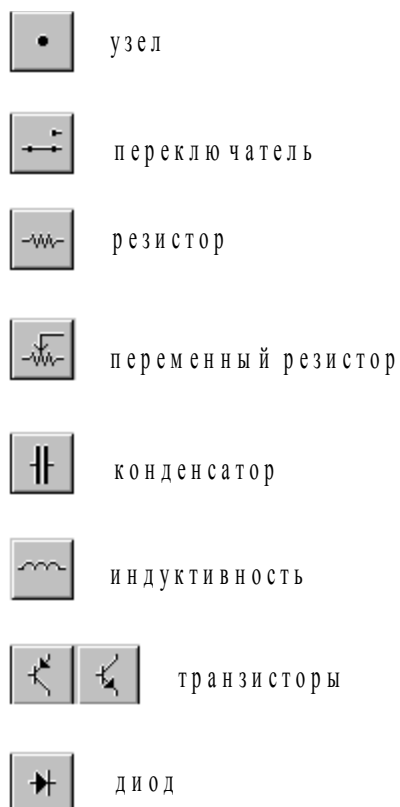
- схему в таблицу истинности или временную диаграмму схемы;
- таблицу истинности в выражение булевой алгебры;
- выражение булевой алгебры в схему или таблицу истинности.

## 4. Наиболее часто используемые элементы Electronics Workbench

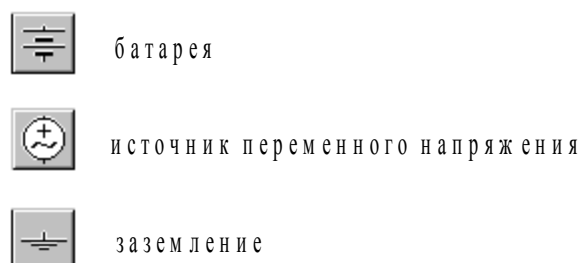


**Внимание:** Из-за наличия ошибки в программе «Electronics Workbench» все элементы смещены на две позиции, поэтому чтобы вставить необходимый элемент в схему следует выбрать элемент стоящий от него на две позиции левее.

#### Базовые элементы



#### Источники



#### Различные элементы

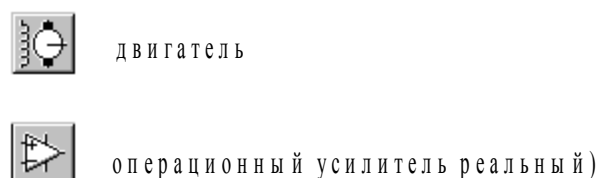


Рис. 17. Пиктограммы часто используемых элементов

## 4.1. Переменный резистор



Рис. 18. Пиктограмма переменного резистора

Предназначен для изменения токов и напряжений схемы путем изменения значений сопротивления от 0 до 100% нажатием клавиши, находящейся в квадратных скобках над резистором, либо этой же клавиши в сочетании с нажатой клавишей Shift, находящейся на клавиатуре (например, как видно из рисунка, необходимо нажать «R»).

Изменение параметров возможно, если дважды нажать на пиктограмму переменного резистора.

## 4.2. Переключатель

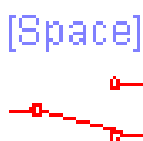


Рис. 19. Пиктограмма переключателя

Переключатель предназначен для коммутации сигналов различной формы и амплитуды. Изменить положение переключателя можно с помощью клавиши, название которой находится в квадратных скобках непосредственно над переключателем (например, как видно из рисунка, нужно нажать «Space» (пробел))

## 5. Практическая часть лабораторной работы

Вы ознакомились с основами работы с программным продуктом Electronics Workbench. Для проверки полученных знаний попробуйте собрать схему, изображенную на рис. 20.

На рис.20 в верхней части изображено инерционное  $R-C$  звено, а в нижней части - двухполупериодный диодный выпрямитель с фильтром на конденсаторах, подключенных ко входу и выходу выпрямителя.

После того как соберете схему, нажмите кнопку «Пуск» в правом верхнем углу экрана.

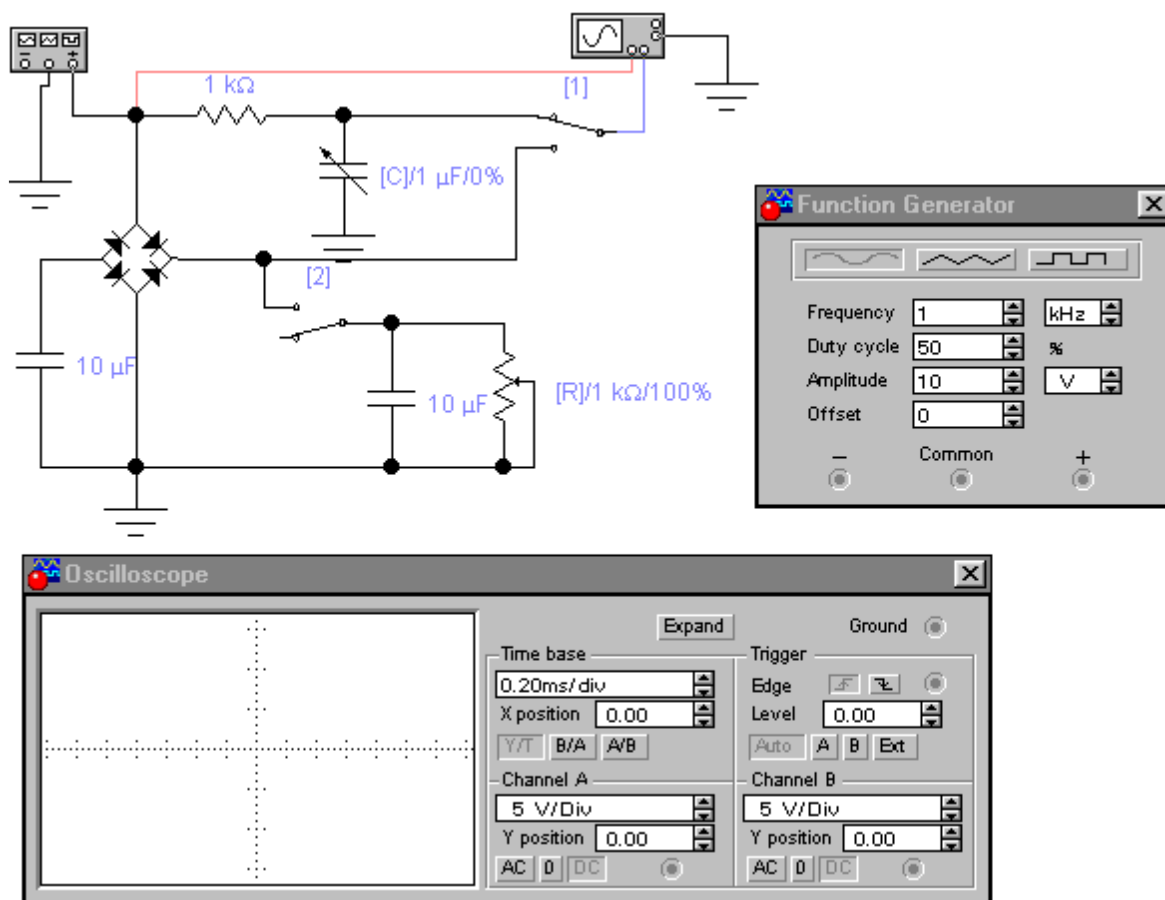


Рис.20. Схема для выполнения исследований

### ***Исследуйте инерционное звено.***

1) С помощью первого и второго переключателей подключите осциллограф к выходу звена.

2) Нажмите кнопку «Expand» на рабочем поле осциллографа для перехода в большеэкранный режим, а также на кнопку «Pausa» в правом верхнем углу рабочего поля. Режим большого экрана осциллографа показан на рис. 21.

3) Замерьте по осциллографу амплитуду входного и выходного напряжения звена, а также сдвиг фаз между входным и выходным сигналами. При выполнении этого пункта используйте красный и синий измерительные щупы, находящиеся в левой и правой частях на экране осциллографа

4) Определите, как изменяется сдвиг фаз и амплитуда напряжений при увеличении и уменьшении емкости. Изменение емкости можно осуществлять нажатием клавиши «C» или «Shift+C» на клавиатуре.

5) Перейдите в обычный режим осциллографа нажатием клавиши «Reduce» на рабочем поле осциллографа в режиме большого экрана.

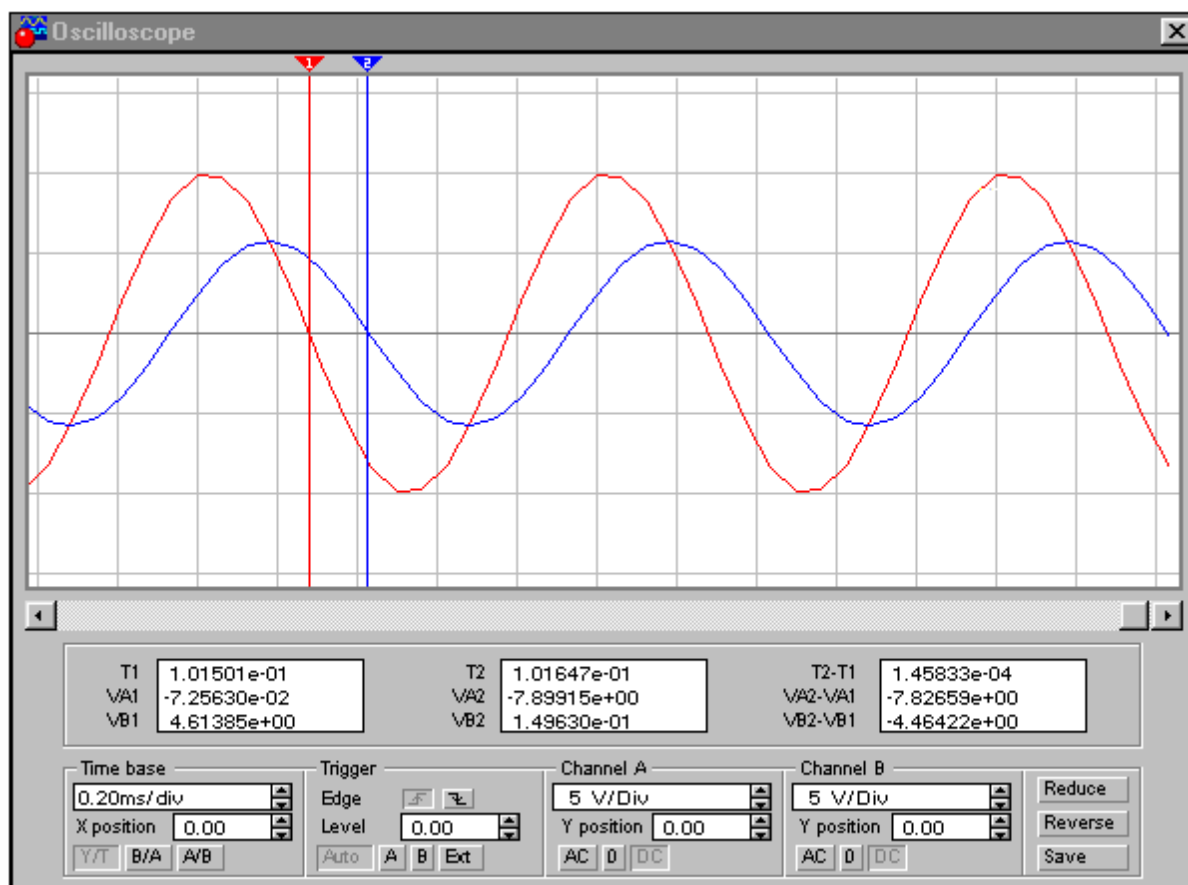


Рис. 21. Вид окна осциллографа в режиме большого экрана

### ***Исследуйте двухполупериодный выпрямитель.***

1) Переключателями 1 и 2 подключите осциллограф к выходу выпрямителя.

2) Зарисуйте временные диаграммы входного и выходного напряжений выпрямителя при подключенной и отключенной емкости  $C$  фильтра.

3) Исследуйте зависимость изменения выходного напряжения выпрямителя при увеличении и уменьшении сопротивления нагрузки  $R_H$ . Изменение сопротивления нагрузки  $R_H$  осуществляйте нажатием клавиши

«R» или «Shift+R» на клавиатуре. Емкость  $C$  фильтра при этом должна быть подключена.

*Напишите выводы по работе и оформите отчет.*

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА САР

#### 1. Цель работы

Исследование работы двигателя постоянного тока и определение его передаточной функции.

#### 2. Общие сведения

Двигатели постоянного тока находят большое применение в системах автоматического регулирования для управления технологическими процессами. Наибольшее распространение получили двигатели постоянного тока с независимым возбуждением. Они являются составной частью исполнительных механизмов, от качества работы которых в значительной степени зависит точность выполнения технологического процесса. Схема для исследования исполнительного двигателя постоянного тока представлена на рис. 1.

Передаточная функция электродвигателя в первом приближении может быть описана инерционным звеном первого порядка для случая, если выходной величиной является частота вращения вала электродвигателя:

$$W(P) = \frac{\omega(P)}{U_{\text{в}}(p)} = \frac{KU_{\text{в}}U_{\text{я}}}{1+PT},$$

где  $K$  - статический коэффициент усиления электродвигателя;

$U_{\text{в}}$  - напряжение на обмотке возбуждения;

$U_{\text{я}}$  - напряжение, подводимое к якорю электродвигателя.

В данной лабораторной работе производится определение постоянных  $K$  и  $T$ , входящих в формулу для  $W(P)$ , путем имитации работы электродвигателя на компьютере. Поскольку вращение вала электродвигателя имитировать довольно сложно, с вала якоря электродвигателя снимается напряжение  $U_{\text{Д}}$ , которое пропорционально частоте вращения вала.

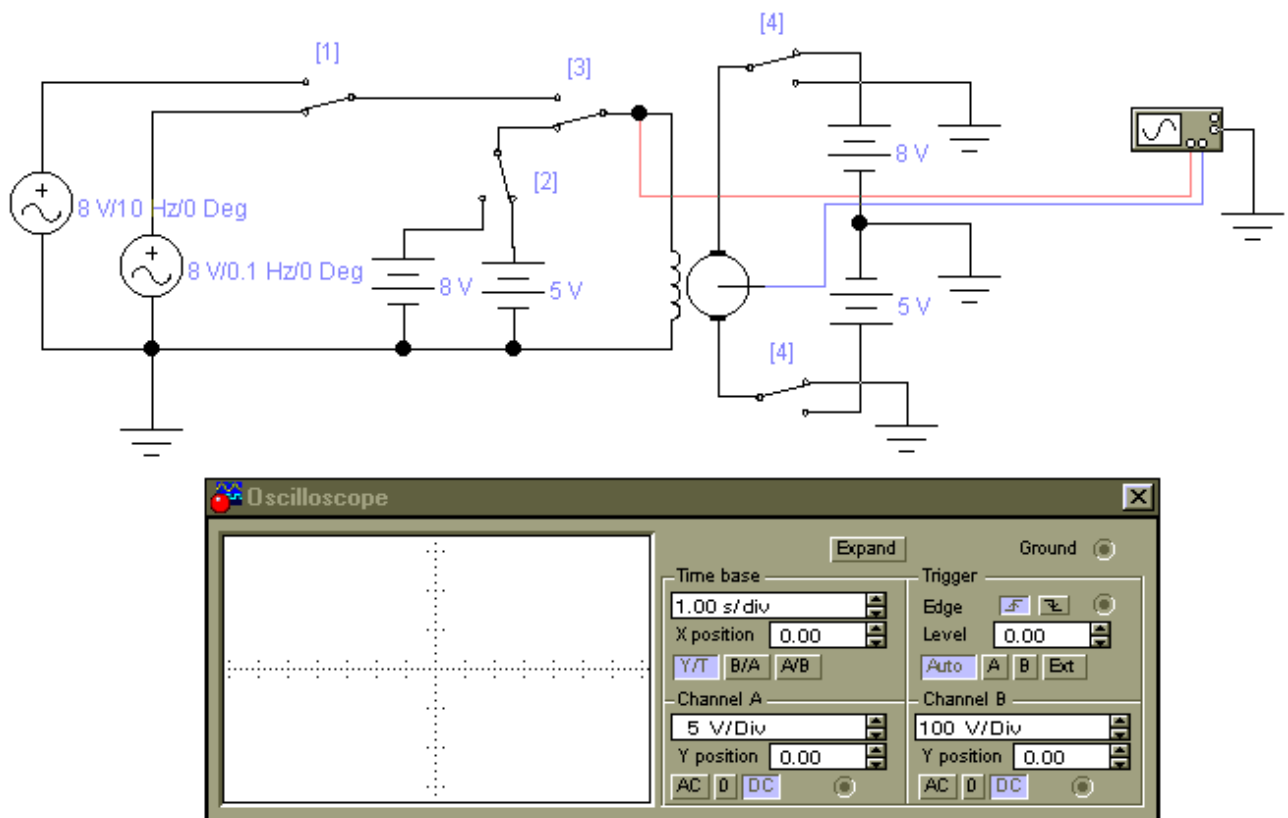


Рис. 1. Схема подключения исполнительного двигателя постоянного тока

### 3. Порядок работы

1) Установить заданное преподавателем значение напряжения  $U_{\epsilon}$ , подводимого к обмотке.

2) Определить коэффициент усиления  $K$ . Для этого установить третий и четвертый переключатели кнопками 3 и 4 в верхней части клавиатуры в нижнее по схеме положение. Нажать кнопку «Пуск» в правом верхнем углу рабочего поля. По осциллографу определить значение напряжения  $U_D$  с выхода вала электродвигателя. После этого определить значение коэффициента усиления  $K_i$  по формуле

$$K_i = \frac{U_D}{U_{\epsilon} U_{я}}$$

3) Варьируя переключателями 2 и 4 (переключатель 3 в нижнем по схеме положении) и измеряя  $U_D$ , вычислить несколько значений  $K_i$ . Определить среднее значение коэффициента усиления по формуле

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n}$$

4) Определить постоянную времени двигателя  $T$ . Для этого установить первый, третий и четвертый переключатели в верхнее по схеме положения. Измерить напряжение с выхода вала электродвигателя. Если амплитуду напряжения  $U_D$  измерить трудно, то изменить масштаб по оси времени и по оси напряжения с помощью соответствующих кнопок, находящихся на рабочем поле осциллографа. Вычислить постоянную  $T$  по формуле

$$T = \frac{KU_{я}U_{\epsilon}}{2\pi fU_D}$$

При подстановке  $U_{\epsilon}$  в приведенное выражение необходимо учесть, что в него подставлять нужно амплитудное значение показания генератора, которое в  $\sqrt{2}$  раз больше действующего:

$$U_{\epsilon} = \sqrt{2}U_{Г}$$

5) Проверить правильность определения  $K$  и  $T$ . Установить первый и четвертый переключатель в нижнее по схеме положение (третий переключатель в верхнем по схеме положении). Измерить выходное напряжение  $U_D$  с вала электродвигателя и сравнить его с расчетным значением, определенным по формуле:

$$U_{Dp} = \frac{U_{\epsilon} \cdot U_{я} \cdot K}{\sqrt{1 + (PT)^2}},$$

где  $P = 2\pi f$ .

6) Рассчитать погрешность определения постоянных  $K$  и  $T$  по формуле

$$\gamma = \frac{U_D - U_{Dp}}{U_{Dp}}$$

7) Написать выводы и оформить отчет.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

#### 1. Цель работы

- изучение принципа действия резистивного преобразователя перемещений;
- снятие временной диаграммы измерительной цепи преобразователя;
- снятие функциональной зависимости выходного напряжения от перемещения исследуемой детали.

#### 2. Общие сведения

Наиболее просто преобразование неэлектрической величины, перемещения, в электрическую величину можно обеспечить с использованием резистивного преобразователя, подключенного к источнику напряжения и механически связанного с перемещаемой деталью технологического процесса.

Наилучшую точность и чувствительность обеспечивает дифференциальная схема включения резистивного преобразователя (рис.1).

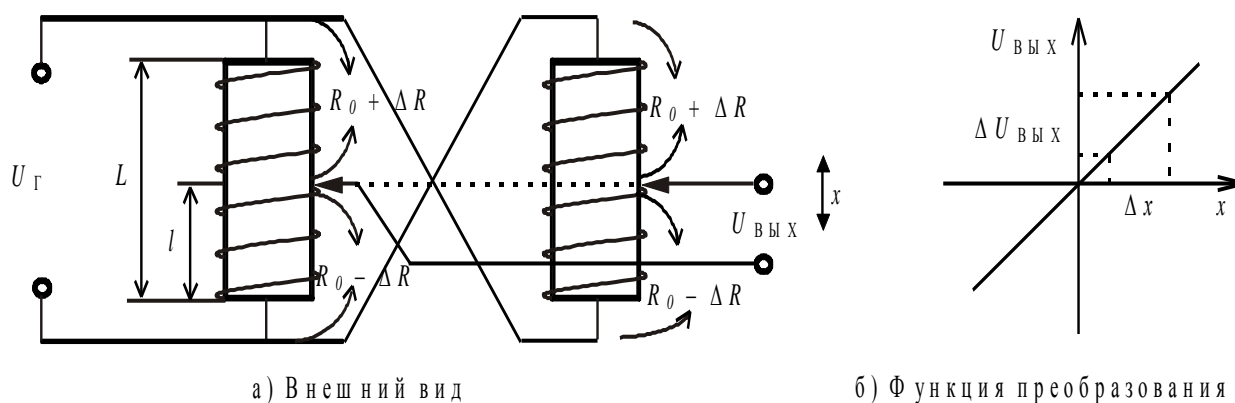


Рис.1. Резистивный преобразователь перемещения

При перемещении детали два плеча резистивного преобразователя увеличивают свое сопротивление, а два - уменьшают. Выходное напряжение схемы может быть найдено из выражения

$$U_{\text{вых}} = U_{\Gamma} \frac{R_0 + \Delta R}{R} - U_{\Gamma} \frac{R_0 - \Delta R}{R} = U_{\Gamma} \frac{2\Delta R}{R} = U_{\Gamma} \frac{2l}{L}$$

Из полученного выражения следует, что зависимость выходного напряжения от перемещения прямо пропорциональная

### 3. Порядок выполнения работы

- 1) Включить схему преобразователя, изображенную на рис. 2. Снять временную диаграмму работы устройства.
- 2) Задать значение сопротивления цепи обратной связи конечного усилителя, указанное преподавателем. Установить движок резистивного преобразователя в крайнее положение (0%).

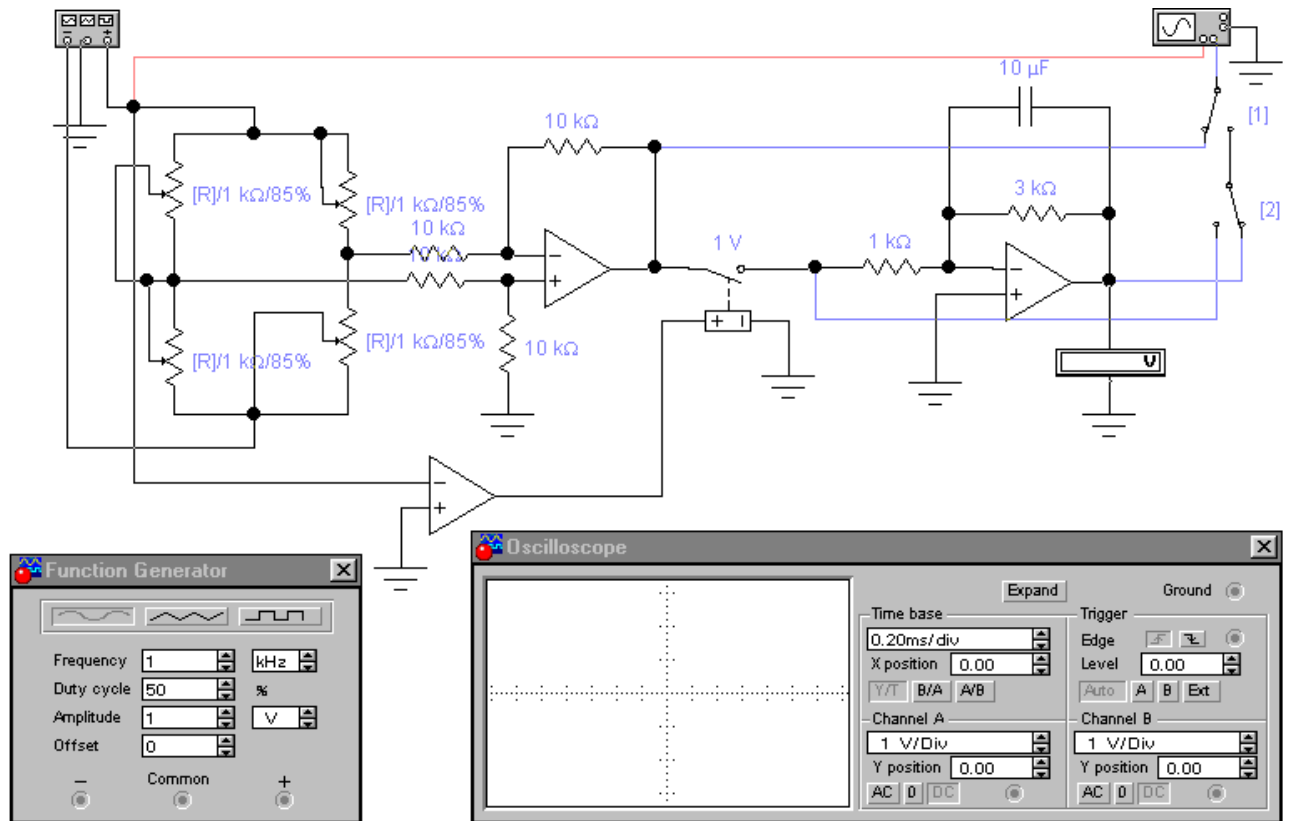


Рис. 2. Измерительная цепь резистивного преобразователя перемещений

- 3) Снять зависимость выходного напряжения по показаниям вольтметра от изменения сопротивления резистивного преобразователя от 0 до 100% и обратно через 5%.
- 4) Повторить цикл измерения 3 раза.
- 5) Показания занести в таблицу.

$x, \%$	$U_{\text{вых}}$						$\bar{U}_i, \text{В}$	
	Цикл 1		Цикл 2		Цикл 3		$\bar{U}_{np,i}$	$\bar{U}_{obr,i}$
	$U_{np}$	$U_{obr}$	$U_{np}$	$U_{obr}$	$U_{np}$	$U_{obr}$		

6) Рассчитать по экспериментальным данным средние значения выходного напряжения для прямого и обратного ходов по формулам

$$\bar{U}_{npi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{npi}; \quad \bar{U}_{обри} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{обри},$$

где  $n$  - число циклов измерений.

7) Построить график функции  $U_{выхi} = f(x)$

$$\bar{U}_{выхi} = \frac{\bar{U}_{npi} + \bar{U}_{обри}}{2}$$

и аппроксимировать ее прямой линией

8) Рассчитать коэффициент преобразования по формуле

$$K = \frac{\Delta U_{выхi}}{\Delta x},$$

а также определить смещение  $b$  функции преобразования. Записать функцию преобразования в виде  $U_{вых} = Kx + b$

9) Рассчитать относительную погрешность преобразования

$$\gamma_i = \frac{\bar{U}_{выхi} - U_{выхi}}{U_{выхi}},$$

где  $U_{выхi}$  - выходное напряжение, рассчитанное по аппроксимирующей прямой.

10) Построить зависимость  $\gamma = f(x)$ .

11) Написать выводы и оформить отчет.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ

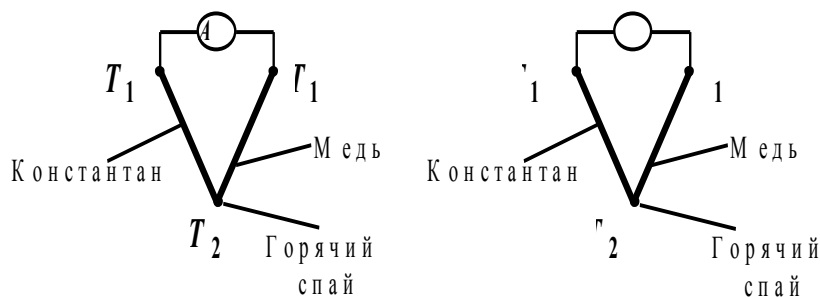
#### 1. Цель работы

\* исследование регулятора температуры, работающего с термоэлектрическим датчиком.

#### 2. Общие сведения

Преобразование температуры в электрический сигнал проще всего осуществить с использованием термопары, принцип работы которой состоит в следующем. Если составить цепь из двух различных проводников или полупроводников, соединив их концами, причем температуру  $T_1$  одного места соединения сделать отличной от температуры  $T_2$  другого места, то под действием ЭДС потечет ток, представляющий разность функций температур мест соединения проводников (рис.1а).

$$I = f(T_2) - f(T_1)$$



а) Внешний вид

б) Подключение к термопаре показывающего прибора

Рис.1. Термопара

Подобная цепь называется термопарой, а проводники - термоэлектродами. Электродвижущая сила, вызывающая наблюдаемый ток, называется термо ЭДС Зеебека. Как показано на рис.1б, термо ЭДС можно измерить с помощью вольтметра. Спай термопары, воспринимающий измеренную температуру  $T_2$ , называется рабочим. Второго спая, как правило

нет, а есть два так называемых свободных конца термопары, находящихся при температуре  $T_1 = const$ , с которых и снимается термо ЭДС. У любой пары однородных проводников значение термо ЭДС зависит только от природы проводников и от температуры спаев и не зависит от распределения температуры вдоль проводников. Прибор для измерения термо ЭДС может быть включен в разрыв между свободными концами термопары. Причем, если известны термо ЭДС металлов  $E_1$  и  $E_2$ , из которых изготовлена термопара, то термо ЭДС для комбинации металлов  $E_T$  (термопары) будет равна их алгебраической сумме  $E_T = E_1 + E_2$ .

Для работы совместно с термопарами выпускаются регуляторы. Регуляторы воспринимают сигнал с термопар, оценивают, находится ли температура объекта в заданных пределах и в случае необходимости вырабатывают сигнал управления, поступающий на исполнительный механизм.

В данной лабораторной работе производится исследование настраиваемой системы, обеспечивающей поддержание температуры в определенном диапазоне. Схема такого регулятора представлена на рис.2.

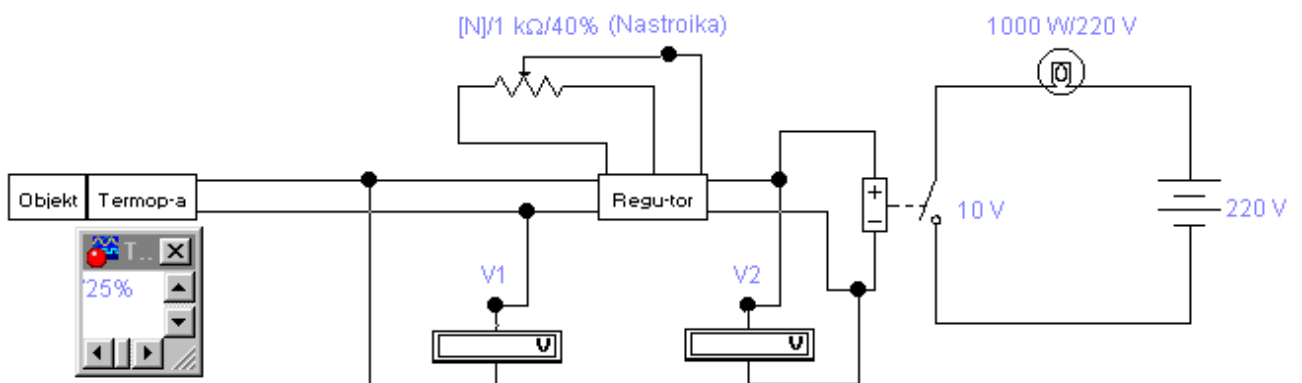


Рис. 2. Регулятор температуры

Термопара воспринимает температуру объекта и преобразует ее в постоянное напряжение, поступающее на регулятор. Регулятор универсальный. К нему подключается регулировочный резистор «Nastroika», изменением сопротивления которого можно установить диапазон поддерживаемых температур. Если температура становится ниже минимально допустимой, то регулятор вырабатывает напряжение, замыкающее обмотку реле. Реле

срабатывает и подключает к сети переменного тока нагревательный элемент. При достижении температуры объекта максимального значения реле обесточивается и разрывает контакты в силовой цепи нагревателя. Тем самым обеспечивается поддержание температуры объекта в определенном диапазоне.

### 3. Порядок выполнения работы

1) Включить схему регулятора, изображенного на рис.2.  
2) Задать сопротивление регулировочного резистора «Nastroika», указанное преподавателем.

3) Определить диапазон поддерживаемых регулятором температур: минимальное  $t_{мин}^{\circ}$  и максимальное  $t_{max}^{\circ}$  значения. Для этого имитировать изменение температуры объекта нажатием кнопки «Т» (для уменьшения температуры) или «Shift + Т» (для увеличения температуры) на клавиатуре. Значение измеренной температуры регистрировать по показаниям термометра, окно которого появляется при двойном нажатии на пиктограмму термопары.

4) Снять зависимость выходного напряжения  $U_{выхТ}$  термопары от температуры  $t^{\circ}$  объекта по показаниям вольтметра  $V_1$  и построить график  $U_{выхТ} = f(t^{\circ})$ .

5) Оценить линейность функции  $U_{выхТ} = f(t^{\circ})$ , аппроксимируя данную зависимость прямой и построив график для относительной погрешности  $\gamma = f(t^{\circ})$ :

$$\gamma_i = \frac{U_{выхТ_i} - U_{вых_i}}{U_{вых_i}},$$

где  $U_{вых_i}$  - значение напряжения, полученного по аппроксимирующей прямой;

$U_{выхТ_i}$  - текущее значение напряжения вольтметра  $V_1$ .

6) Определить чувствительность термопары  $S = \frac{\Delta U_{вых_i}}{\Delta t^\circ}$ , а также начальное смещение  $b$ . Записать функцию преобразования в виде  $U_{вых_T} = St^\circ + b$ .

7) Снять зависимость выходного напряжения регулятора  $U_{вых_p}$  по показаниям вольтметра  $V_2$  от температуры  $t^\circ$ . Построить график данной зависимости.

8) Настроить регулятор на диапазон поддерживаемых температур, указанный преподавателем, подстройкой специального резистора «Nastroika» регулятора. Записать полученное значение сопротивления.

Диапазон поддерживаемых регулятором температур						
14-23	14-24	15-25	16-26	17-28	17-29	18-30

9) Написать выводы и оформить отчет.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### КОМПЕНСАЦИОННЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

#### 1. Цель работы

\* исследование компенсационного стабилизатора напряжения в интегральном исполнении типа К142ЕН5А.

#### 2. Общие сведения

Для работы автоматических устройств управления технологическими процессами требуются стабильные низковольтные источники напряжения, которые не меняют выходного напряжения ни при изменении сопротивления нагрузки (при изменении режима работы технологического процесса), ни при изменении напряжения питающей сети. Компенсационные стабилизаторы напряжения в интегральном исполнении обладают высокими



метрологическими характеристиками в сравнении с параметрическими стабилизаторами. Высокие метрологические характеристики таких стабилизаторов достигаются наличием внутренней обратной связи и сравнением выходного постоянного напряжения с эталонным напряжением, формируемым внутренним источником опорного напряжения.

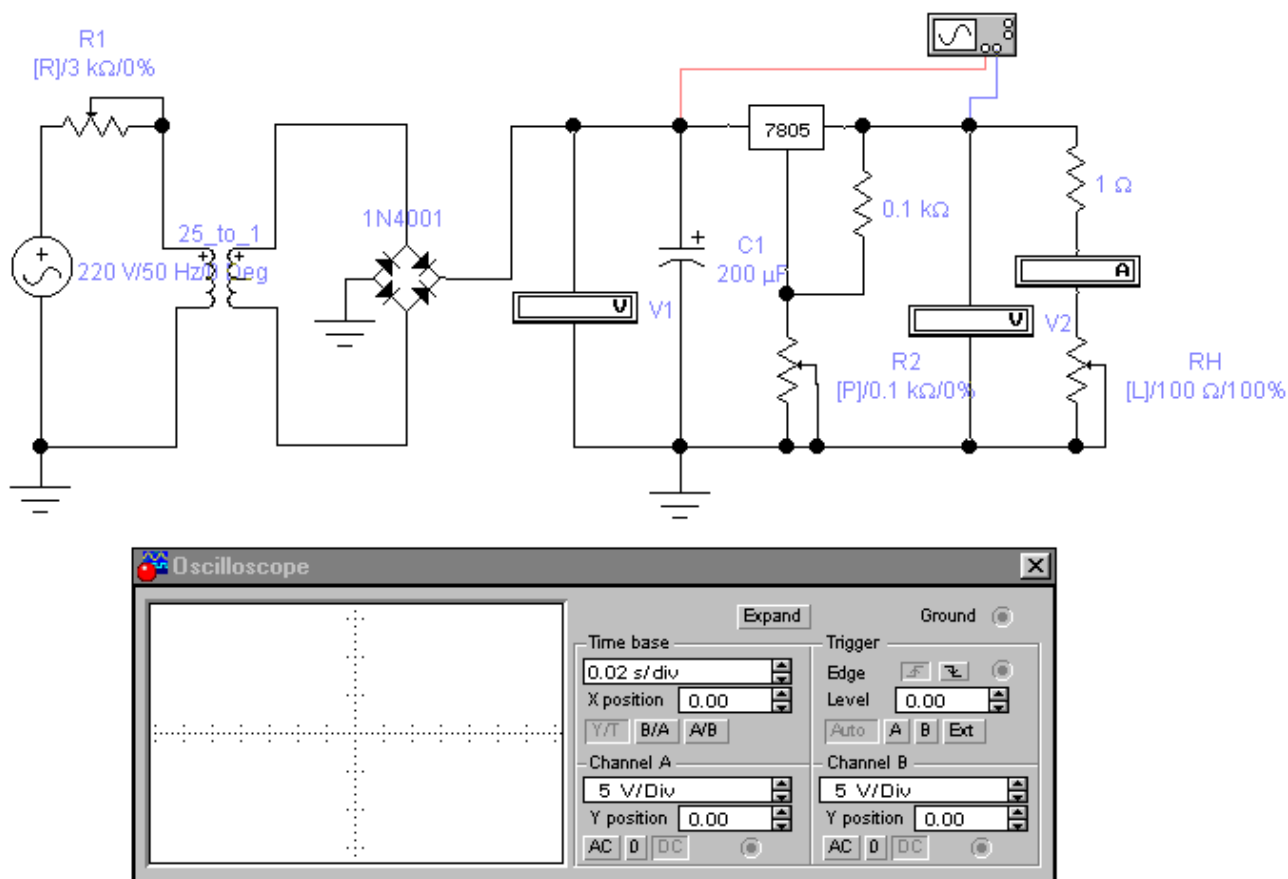


Рис. 1. Источник питания

Схема источника питания на 5В, выполненного на интегральной микросхеме К142ЕН5А (аналог зарубежной микросхемы 7805) и подключенного к сети переменного тока напряжением ~220В, представлена на рис. 1.

Напряжение 220В через понижающий трансформатор поступает на двухполупериодный выпрямитель, собранный на диодах. Пульсирующее напряжение сглаживается конденсатором  $C_1$  и поступает на компенсационный стабилизатор с фиксированным напряжением 5В на микросхеме К142ЕН5А. На основе данного стабилизатора можно сделать регулируемый источник питания на напряжение более 5В подключением дополнительных резисторов.

Устанавливать выходное напряжение, отличное от 5В, можно путем изменения переменного сопротивления  $R_2$  нажатием клавиши «P» или «Sift+P» на клавиатуре. Выходное напряжение стабилизатора равно 5В при сопротивлении подстроечного резистора  $R_2$ , равном 0 (%). Изменяющаяся нагрузка имитируется резистором  $R_n$ , сопротивление которого изменяется нажатием клавиши «L» или «Sift+L» на клавиатуре.

Качество работы схемы характеризует коэффициент стабилизации

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{вх} / U_{вх}}{\Delta U_{вых} / U_{вых}},$$

который показывает способность стабилизатора подавлять входные пульсации. Чем больше  $K_{cm}$ , тем лучше источник питания. Чем ниже выходное сопротивление стабилизатора, тем в большем диапазоне возможно изменение сопротивления нагрузки без изменения напряжения на выходе стабилизатора и тем выше  $K_{cm}$ .

### 3. Порядок выполнения работы

1) Определить диапазон входных напряжений. Для этого, изменяя сопротивление  $R_1$  нажатием клавиши «R» или «Sift+R», контролировать входное и выходное напряжение стабилизатора по показаниям вольтметров  $V_1 = U_{вх}$  и  $V_2 = U_{вых}$ . При этом  $R_2 = 0$ , а  $R_n$  имеет максимальное значение (100%). Данные занести в табл.1. Определить диапазон входных напряжений  $\Delta U_{вх}$  при  $U_{вых} = const$ .

Таблица 1

$U_{вх}$ , В			.....
$U_{вых}$ , В			.....

2) Исследовать влияние изменения нагрузки на выходное напряжение стабилизатора. Для этого выбрать напряжение из рабочего диапазона  $\Delta U_{вх}$  входных напряжений изменением  $R_1$  и подать его на вход. Изменяйте  $R_n$  и измеряйте ток нагрузки по показаниям амперметра. Данные занести в табл.2.

Таблица 2

$I_H$ , мА			.....
$U_{вых}$ , В			.....

Рассчитать по экспериментальным данным выходное сопротивление стабилизатора

$$r_{вых} = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta I_H}, U_{ex} = const.$$

3) Определить коэффициент стабилизации стабилизатора. Для этого выставить на входе стабилизатора напряжение из рабочего диапазона резистором  $R_1$  и измерить выходное напряжение при максимальном значении сопротивления нагрузки  $R_H = \max(100\%)$ . Уменьшайте входное напряжение изменением резистора  $R_1$  до возникновения изменения выходного напряжения. Данные занести в табл.3.

Таблица 3

$U_{ex}$ , В	$U_{вых}$ , В	$U_{ex} \pm \Delta U_{ex}$ , В	$U_{вых} \pm \Delta U_{вых}$ , В	$K_{ст}$

Рассчитать коэффициент стабилизации стабилизатора

4) Изменением сопротивления подстроечного резистора  $R_2$  установить выходное напряжение стабилизатора, указанное преподавателем.

Напряжение стабилизации стабилизатора, В					
4,9	5,0	5,3	5,6	6,0	6,3

5) Повторить пункты 2 и 3..

6) Написать выводы и оформить отчет.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ

#### 1. Цель работы

- изучение принципа действия емкостного измерителя влажности воздуха;
- снятие временной диаграммы работы устройства;
- снятие функциональной зависимости выходного сигнала устройства - кода от влажности.

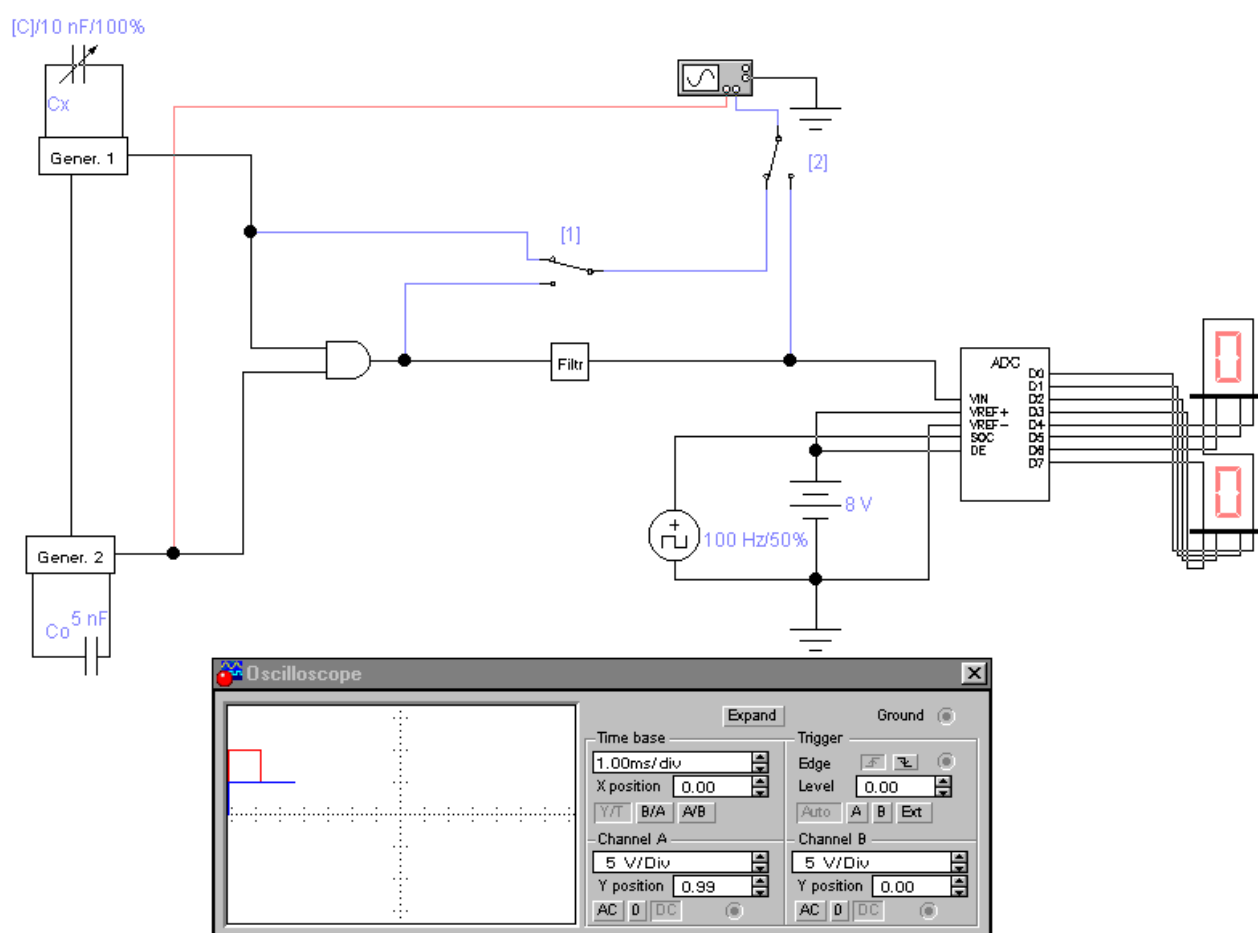


Рис. 1. Цифровой измеритель влажности

#### 2. Общие сведения

При производстве высокотехнологического оборудования необходимо поддерживать в определенном диапазоне ряд физических величин, характеризующих состояние окружающего атмосферного воздуха. К числу таких величин относится влажность воздуха.

Наиболее просто влажность воздуха можно измерить с использованием емкостного датчика, значение рабочей емкости которого изменяется в зависимости от количества (плотности) паров воды, содержащейся в атмосфере. В данной лабораторной работе исследуется емкостной цифровой измеритель влажности.

Схема устройства представлена на рис. 1.

Рабочая емкость  $C_x$  подключена к первому генератору  $G_1$ , а опорная  $C_0$  - ко второму генератору  $G_2$  прямоугольных импульсов. Емкости включены в частото задающие цепи данных генераторов. При изменении влажности воздуха изменяется значение  $C_x$  рабочей емкости. В результате частота следования прямоугольных импульсов (а, следовательно, и период) с генератора  $G_1$  также изменяется. При этом частота следования импульсов с генератора  $G_2$ , в частото задающую цепь которого включена опорная емкость  $C_0$ , остается неизменной. Для синхронизации работы генераторов с генератора  $G_2$  подается управляющий сигнал на генератор  $G_1$ . В результате этого моменты начала следования импульсов обоих генераторов совпадают, а длительности импульсов, поступающих на схему совпадения с обоих сигналов, разные. Поэтому на выходе схемы «И» формируется сигнал широтно-импульсной модуляции, частота следования импульсов которого равна частоте опорного генератора  $G_2$ , а длительность импульсов пропорциональна изменению значения рабочей емкости датчика, а, следовательно, и влажности. Для компенсации изменения значения рабочей емкости  $C_x$  от температуры опорная емкость  $C_0$  находится в том же помещении, где и установлена рабочая емкость.

Сигнал, пропорциональный абсолютной влажности воздуха, поступает на аналого-цифровой преобразователь, осуществляющий оцифровку входного сигнала и выдачу шестнадцатеричного кода на двухразрядный дисплей.

Двухразрядный дисплей отражает информацию в шестнадцатеричном коде, пересчет которой в десятичные числа можно осуществить по приведенной таблице.

Шестнадцатеричный код	Десятичный код (ДК)	Шестнадцатеричный код	Десятичный код (ДК)
0	0	D	13
1	1	E	14
2	2	F	15
3	3	10	16
4	4	11	17
5	5	12	18
6	6	13	19
7	7	14	20
8	8	15	21
9	9	16	22
A	10	17	23
B	11	18	24
C	12	19	25

### 3. Порядок выполнения работы

1) Включить схему, изображенную на рис.1. Снять временную диаграмму работы устройства.

2) Задать опорное напряжение аналого - цифрового преобразователя, указанное преподавателем.

3) Снять зависимость выходного сигнала по показаниям двухразрядного цифрового табло в десятичном коде (ДК) от изменения влажности в диапазоне от 50 до 100% и обратно. Изменение влажности имитировать нажатием клавиши «С» (при необходимости уменьшить влажность) или «Shift+С» (при необходимости увеличить влажность) на клавиатуре. Построить график зависимости  $ДК = f(C_x)$ .

4) Аппроксимировать полученную зависимость прямой и определить чувствительность устройства

$$S = \frac{\Delta ДК}{\Delta C_x}$$

5) Определить погрешность линеаризации по формуле

$$\gamma_i = \frac{U_{P_i} - U_{n_i}}{U_{n_i}},$$

где  $U_{P_i}$  - значение напряжения, полученное в результате эксперимента;

$U_{n_i}$  - напряжение, взятое на аппроксимирующей прямой.

6) Построить график зависимости

$$\gamma_i = f(C_x)$$

и определить ее максимальное значение.

7) Написать выводы и отчет.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

#### 1. Цель работы

\* исследование на устойчивость системы автоматического регулирования технологическим процессом

#### 2. Общие сведения

Введение отрицательной обратной связи (ООС) в систему увеличивает точность поддержания регулируемой величины. В тоже время охват цепи ООС приводит к тому, что к начальному фазовому сдвигу, вносимому коэффициентом передачи прямой цепи, добавляется фазовый сдвиг, вызванный задержкой сигнала во времени при его прохождении через цепь ООС. Вследствие этого на некоторой частоте может оказаться, что результирующий фазовый сдвиг станет положительным, что приведет к самовозбуждению цепи. На рис.1 представлена структурная схема замкнутой системы автоматического регулирования.

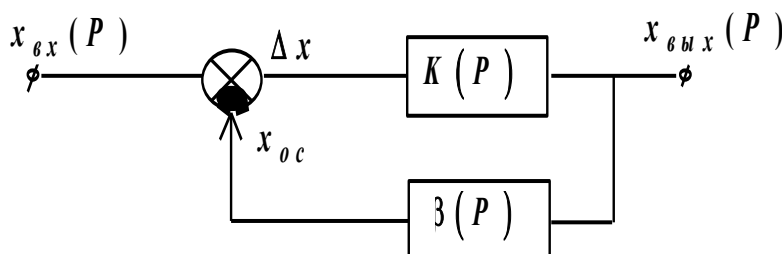


Рис.1. Структурная схема замкнутой системы автоматического регулирования

Передаточная функция системы

$$\Phi(P) = \frac{K(P)}{1 + K(P)\beta(P)},$$

где  $K(P)$  - передаточная функция прямой цепи;

$\beta(P)$  - передаточная функция цепи ООС.

Если в последнем выражении знаменатель равен нулю, то  $\Phi(P) = \infty$  и система неустойчива. Следовательно, границе устойчивости соответствует



$K(P) = \frac{1}{\beta(P)}$ , а фазовый сдвиг по петле  $\varphi = 2\pi n$ , где  $N = 1, 2, \dots$ . В данной

лабораторной работе производится оценка устойчивости системы второго порядка.

На рис. 2 представлена система автоматического регулирования, состоящая из 2-х инерционных цепей, охваченных ООС.

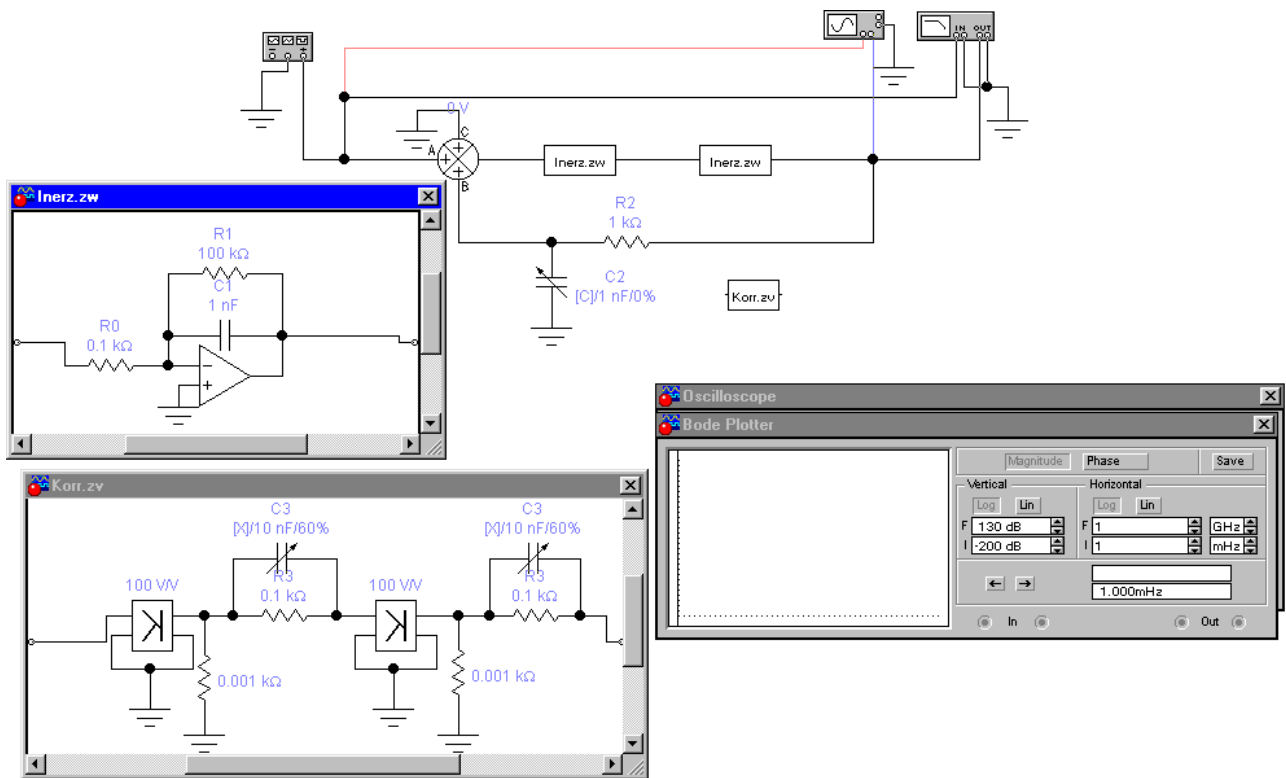


Рис. 2. Функциональная схема системы автоматического регулирования

Оценку устойчивости лучше проводить по логарифмической амплитудно-частотной характеристике (ЛАХ)  $L(\omega)$ . Для системы второго порядка ЛАХ цепи прямой передачи  $L(\omega) = 20 \lg K(P)$ , имеет вид, изображенный на рис.3.

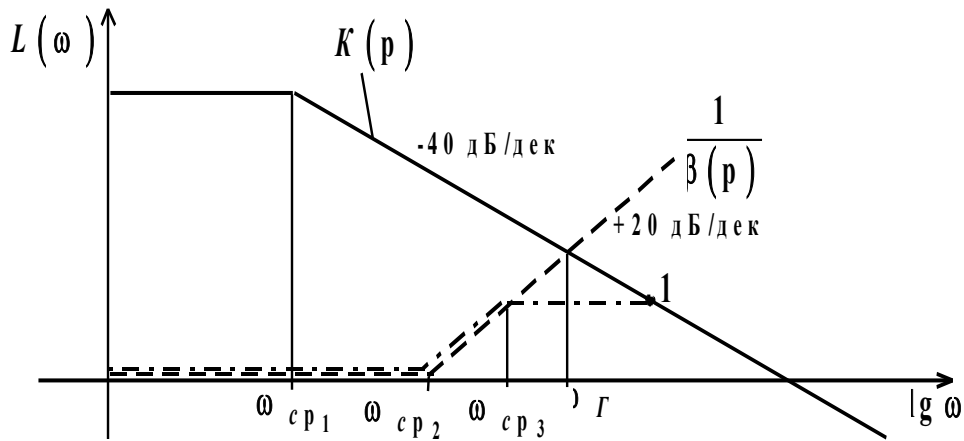


Рис. 3. Логарифмическая амплитудно - частотная характеристика системы

Частота среза  $\omega_{cp1}$  может быть найдена из выражения

$$\omega_{cp1} = \frac{1}{R_1 C_1} = \frac{1}{T_1},$$

где  $T_1$  - постоянная  $R - C$  цепи прямой передачи.

Для определения, устойчива или нет система, необходимо, чтобы разность наклонов функций  $K(P)$  и  $\frac{1}{\beta(P)}$  в точке их пересечения не превышала -40 дБ.

Построим ЛАХ функций  $\frac{1}{\beta(P)}$  цепи ООС системы. Она показана на рис.1 пунктирной линией. Частота среза функции  $\frac{1}{\beta(P)}$  рассчитывается по формуле

$$\omega_{cp2} = \frac{1}{R_2 C_2}$$

Как видно из рис.1, разность наклонов функций  $K(P)$  и  $\frac{1}{\beta(P)}$  - 40 дБ - (+20дБ/дек) = -60 дБ, т.е. превышает -40 дБ. Частота генерации  $\omega_{\Gamma}$  системы соответствует точке пересечения функций  $K(P)$  и  $\frac{1}{\beta(P)}$ .

Если в систему включить корректирующее звено  $R-C$  типа, то ЛАХ функции можно изменить, как показано на рис.1 штрих - пунктирной линией.

Тогда разность наклонов функций  $K(P)$  и  $\frac{1}{\beta(P)}$  не превысит -40дБ в точке 1 их пересечения и система будет устойчивой. Частоту среза цепи коррекции можно определить по формуле

$$\omega_{срз} = \frac{1}{R_3 C_3}.$$

### 3. Порядок выполнения работы

- 1) Включить автоматическую систему с ООС, изображенную на рис.1.
- 2) Выставить значение емкости цепи обратной связи равной 0 (0%) и оценить устойчивость работы системы.
- 3) Разорвать цепь ООС и снять ЛАХ цепи прямой передачи по прибору «Vode Plotter».
- 4) Сравнить экспериментально полученную ЛАХ с расчетной.
- 5) Замкнуть цепь ООС и выставить значение емкости цепи ООС равное 50%.
- 6) Оценить устойчивость работы системы. В случае неустойчивости работы системы измерить частоту генерации.
- 7) Сравнить полученное значение частоты генерации с расчетным значением  $\omega_{Г}$ .
- 8) Рассчитать параметры элементов  $R_3 - C_3$  цепи коррекции амплитудно-частотной характеристики системы.
- 9) Включить цепь коррекции в цепь прямой передачи системы и оценить устойчивость работы системы.
- 10) Написать выводы и оформить отчет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов Л.И., Петелин Д.П. Элементы и системы электроавтоматики: учебное пособие для студентов вузов специальности «Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов». - 2-е изд., перераб. и доп. - М: Высшая школа, 1985. - 216 с., ил.

2. Ключев А.С. Автоматическое регулирование. - М: Энергия, 1967. - 344 с., ил.

3. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие. Изд. 3-е, переработанное и дополненное под редакцией Б. Д. Кошарского. Л., «Машиностроение» (Ленинградское отделение), 1976 – 488 с., ил

4. Шаумян Г. А. Комплексная автоматизация производственных процессов. М., Машиностроение, 1973. – 640 с., ил.