

МИНОБРНАУКИ РОССИИ


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

Институт горного дела и строительства  
Кафедра «Санитарно-технические системы»

Утверждено на заседании кафедры  
«СТС»

«12» января 2021г., протокол №\_6\_

Заведующий кафедрой

  
\_\_\_\_\_ Р.А. Ковалев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по выполнению лабораторных работ**  
**по дисциплине (модулю)**

***«Электроснабжение зданий и населенных мест с основами  
электротехники и электроники»***

**основной профессиональной образовательной программы  
высшего образования – программы бакалавриата  
по направлению подготовки  
*08.03.01 «Строительство»*  
с направленностью (профилем)**

***Промышленное и гражданское строительство***

Форма(ы) обучения: *очная*

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-05-21


Тула 2021год

## **Разработчик(и) методических указаний**

Ковалев Р.А. директор института горного дела и строительства, док. техн. наук, доцент

---

*(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)*



---

*(подпись)*

## СОДЕРЖАНИЕ

<a href="#"><u>СОДЕРЖАНИЕ</u></a> .....	3
<a href="#"><u>ВВЕДЕНИЕ</u></a> .....	4
<a href="#"><u>Лабораторная работа № 1. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.</u></a> .....	7
<a href="#"><u>Лабораторная работа № 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.</u></a> .....	12
<a href="#"><u>Лабораторная работа № 3 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ.</u></a> .....	17
<a href="#"><u>Лабораторная работа №4 ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ.</u></a> .....	24
<a href="#"><u>Лабораторная работа №5. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИГГЕРОВ RS, D, JK.</u></a> .....	36
<a href="#"><u>Лабораторная работа № 6. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК.</u></a> .....	49
<a href="#"><u>Лабораторная работа № 7. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ.</u></a> .....	62
<a href="#"><u>Лабораторная работа №8 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ. ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОДСТАНЦИЙ</u></a> .....	70

## **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторный практикум по дисциплине **Электроснабжение зданий и населенных мест с основами электротехники и электроники** предназначен для студентов направления **СТРОИТЕЛЬСТВО** всех профилей.

Весь курс разделен на три части:

1. Основы электротехники;
2. Основы электроники;
3. Основы электроснабжения.

Лабораторные работы также разделены на три части:

1. Основы электротехники –(лабораторные работы) выполняются с использованием пакета ELECTRONICS WORKBENCH.
2. Основы электроники – (лабораторные работы – цифровые устройства) выполняются с использованием пакета Б.А. Краузе.
3. Основы электроснабжения – (лабораторные работы) выполняются с режиме on-line с использованием сайта on-line electric.

Выполнение лабораторных работ разделено на части: студент обязан выполнить предварительное домашнее задание. На занятиях провести лабораторную работу, оформить отчет. А на следующем занятии защитить.

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:

- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

# Лабораторная работа № 1. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ВВОДНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. КОМПОНЕНТЫ ELECTRONICS WORKBENCH

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Овладеть навыками работы с программой Electronics Workbench.

## 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Программа Electronics Workbench предназначена для схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых радиоэлектронных устройств различного назначения.

Для операций с компонентами на общем поле Electronics Workbench выделены две области: панель компонентов и поле компонентов (рис. 1)

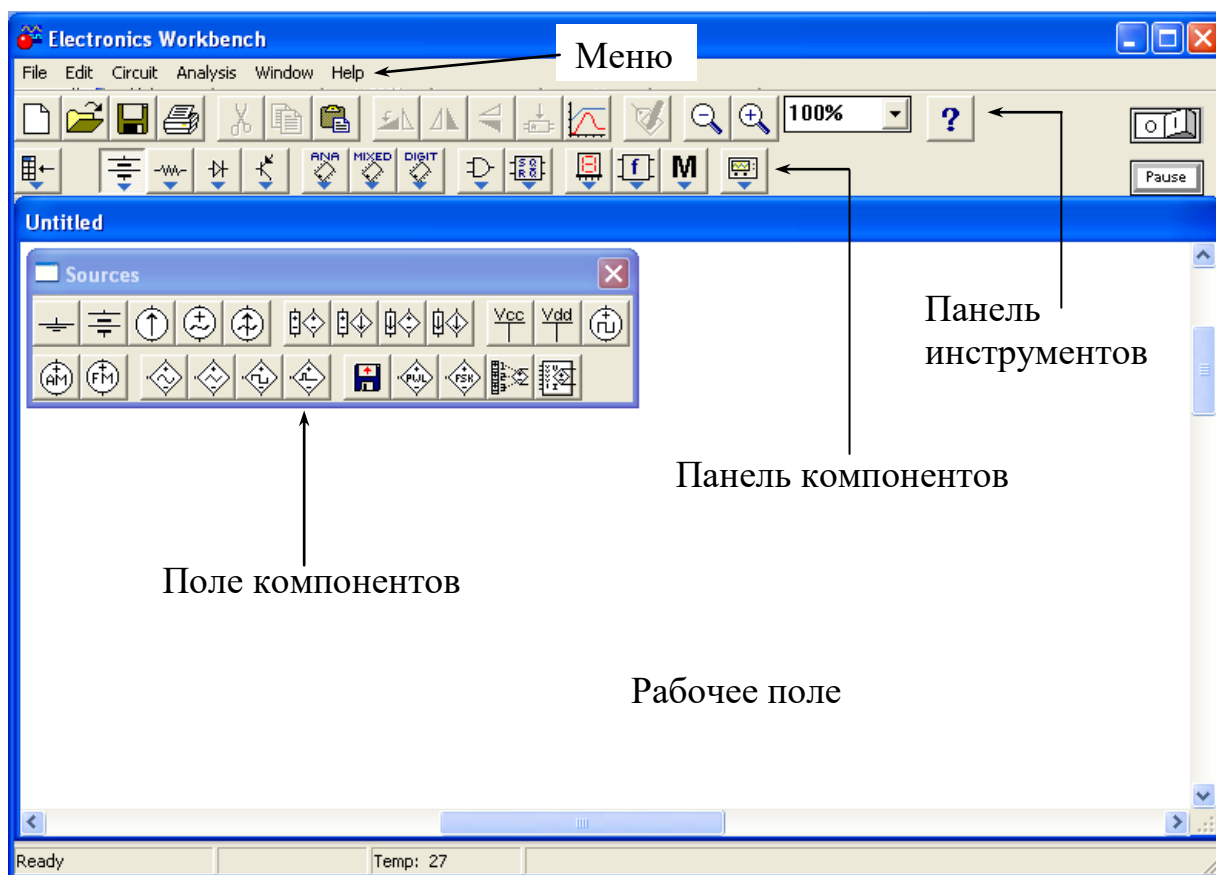


Рисунок 1

Панель компонентов состоит из пиктограмм полей компонентов, поле компонентов – из условных изображений компонентов. Щелчком мышь на одной из пиктограмм полей компонентов, расположенных на панели, можно открыть соответствующее поле. На рис. 1 открыто поле источников сигнала (Sources). Расположение элементов в полях ориентировано на частоту использования компонента. На рис. 2 показаны все имеющиеся в Electronics Workbench поля компонентов.

В библиотеки элементов программы Electronics Workbench входят аналоговые, цифровые и цифро-аналоговые компоненты.

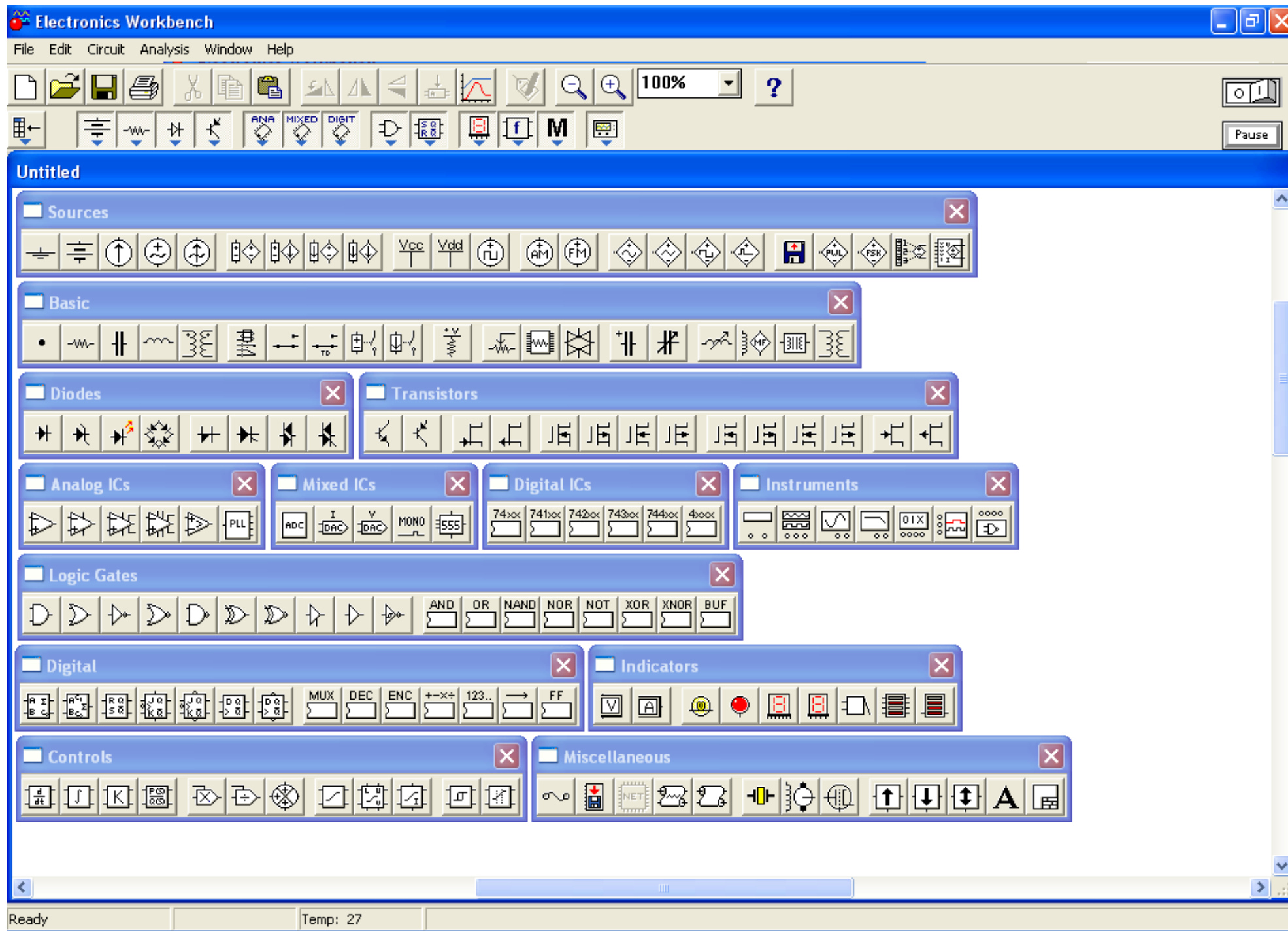
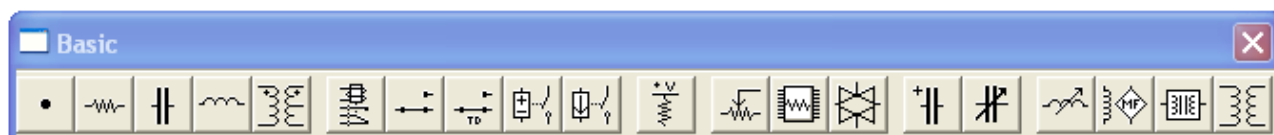


Рисунок 2

Все компоненты можно условно разбить на следующие группы:

1. Источники (Sources)
2. Базовые компоненты (Basic)
3. Диоды (Diodes)
4. Транзисторы (Transistors)
5. Аналоговые микросхемы (Analog ICs)
6. Микросхемы смешанного типа (Mixed ICs)
7. Цифровые микросхемы (Digital ICs)
8. Логические цифровые микросхемы (Logic Gates)
9. Цифровые микросхемы (Digital)
10. Индикаторные устройства (Indicators)
11. Аналоговые вычислительные устройства (Controls)
12. Компоненты смешанного типа (Miscellaneous)
13. Инструменты (Instruments).

### Базовые компоненты (Basic)



#### Соединительный узел (Connector)



Узел применяется для соединения проводников и создания контрольных точек. К каждому узлу может подсоединяться не более четырех проводников. После того как схема собрана, можно вставить дополнительные узлы для подключения приборов.

#### Резистор (Resistor)



Сопротивление резистора измеряется в Омах и задается производными величинами (от Ом до МОм).

#### Конденсатор (Capacitor)



Ёмкость конденсатора измеряется в Фарадах и задается производными величинами (от пФ до Ф).

#### Катушка индуктивности (Inductor)



Индуктивность катушки (дресселя) измеряется в Генри и задается производными величинами (от мкГн до Гн)



### Переключатель (Switch)



Переключатель, управляемый нажатием задаваемой клавиши клавиатуры (по умолчанию – клавиша пробела).

### Переменный резистор (Potentiometer)



Положение движка переменного резистора устанавливается при помощи специального элемента – стрелочки – регулятора. В диалоговом окне можно установить сопротивление, начальное положение движка ( в процентах) и шаг приращения (также в процентах). Имеется возможность изменять положение движка при помощи клавиш – ключей (по умолчанию – клавиша R).

Используемые клавиши – ключи:

- буквы от A до Z;
- цифры от 0 до 9;
- клавиша Enter на клавиатуре;
- клавиша пробел [Space].

Для увеличения значения положения движка необходимо одновременно нажать [Shift] и клавишу – ключ, для уменьшения – клавишу – ключ.

*Пример:* Движок установлен в положении 45%, шаг приращения — 5%, клавиша-ключ-пробел [Space]. Нажатием, клавиши [Space] положение движка становится равным 40%. При каждом последующем нажатии на клавишу [Space] значение уменьшается на 5%. Если нажать [Space] + [Shift], то положение движка потенциометра увеличится на 5%.

### Переменный конденсатор (Variable Capacitor)



Переменный конденсатор допускает возможность изменения величины емкости. Величину емкости устанавливают, используя ее начальное значение коэффициента пропорциональности следующим образом:

$C = (\text{начальное значение} / 100) - \text{коэффициент пропорциональности}$ .

Значение емкости может устанавливаться с помощью клавиш – ключей так же, как и положение движка переменного резистора.

### Катушка с переменной индуктивностью (Variable Inductor)



Величину индуктивности этой катушки устанавливают, используя начальное значение ее индуктивности и коэффициента пропорциональности следующим образом:

$L = (\text{начальное значение} / 100) - \text{коэффициент пропорциональности}$

Значение индуктивности может устанавливаться с помощью клавиш – ключей так же, как и положение движка переменного резистора.

### Компоненты источники (Sources)



## Заземление (Ground)



Компонент «заземление» имеет нулевое напряжение и таким образом обеспечивает исходную точку для отсчета потенциалов. Не все схемы нуждаются в заземлении для моделирования, однако любая схема, содержащая:

- операционный усилитель;
- трансформатор;
- управляемый источник;
- осциллограф,

должна быть обязательно заземлена, иначе приборы не будут производить измерения или их показания окажутся неправильными.

*Будьте внимательны при заземлении трансформаторов и управляемых источников.*

## Источники

Все источники в Electronics Workbench идеальные. Внутреннее сопротивление идеального источника напряжения равно нулю, поэтому его выходное напряжение не зависит от нагрузки. Идеальный источник тока имеет бесконечно большое внутреннее сопротивление, поэтому его ток не зависит от сопротивления нагрузки.

### Источник постоянного напряжения (Battery)



ЭДС источника постоянного напряжения или батареи измеряется в Вольтах и задается производными величинами (от мкВ до кВ). Короткой чертой в изображении батареи обозначается вывод, имеющий отрицательным потенциал; по отношению к другому выводу.

*Батарея в Electronics Workbench имеет внутреннее сопротивление, равное нулю, поэтому, если необходимо использовать две параллельно подключенные батареи, то следует включить последовательно между ними небольшое сопротивление (например, в 1 Ом).*

### Источник постоянного тока (DC Current Source)



Ток источника постоянного тока (direct current) измеряется в Амперах и задается производными величинами (от мкА до кА). Стрелка указывает направление тока (от "+" к "-")

### Источник переменного напряжения (AC Voltage Source)

Действующее значение (root-mean-square - RMS) напряжения источника измеряется в Вольтах и задается производными величинами (от мкВ до кВ). Имеется возможность установки частоты и начальной фазы. Напряжение источника отсчитывается от вывода со знаком "-". Действующее значение напряжения VRMS, вырабатываемое источником переменного синусоидального напряжения, связано с его амплитудным значением VPEAK следующим, соотношением:

$$U_{VRMS} = \frac{U_{VPEAK}}{\sqrt{2}}$$

### Источник переменного тока (AC Current Source)

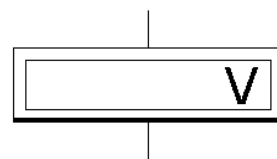
Действующее значение тока источника измеряется в Амперах и задается производными величинами (от мкА до кА). Имеется возможность установки частоты и начальной фазы.

### Компоненты индикаторные устройства (Indicators)



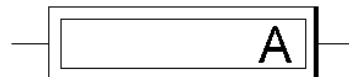
#### Вольтметр (Voltmeter)

Вольтметр (внутреннее сопротивление, режим измерения постоянного или переменного напряжения).

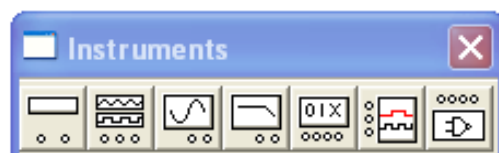


#### Амперметр (Ammeter)

Амперметр (внутреннее сопротивление, режим измерения постоянного или переменного тока).



### Инструменты (Instruments)



## Осциллограф (Oscilloscope)



Изображение на рабочем поле



Лицевая панель осциллографа показана на рис. 3. Осциллограф имеет два канала (CHANNEL) A и B с отдельной регулировкой чувствительности в диапазоне от 10 мкВ/дел (mV/Div) до 5 кВ/дел (kV/Div) и регулировкой смещения по вертикали (Y POS). Выбор режима по входу осуществляется нажатием кнопок . Режим AC предназначен для наблюдения только сигналов переменного тока (его еще называют режимом «закрытого входа», поскольку в этом режиме на входе усилителя включается разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую). В режиме 0 входной зажим замыкается на землю. В режиме DC (включен по умолчанию) можно проводить осциллографические измерения как постоянного, так и переменного тока. Этот режим еще называют режимом «открытого входа», поскольку входной сигнал поступает на вход вертикального усилителя непосредственно. С правой стороны от кнопки DC расположен входной зажим.

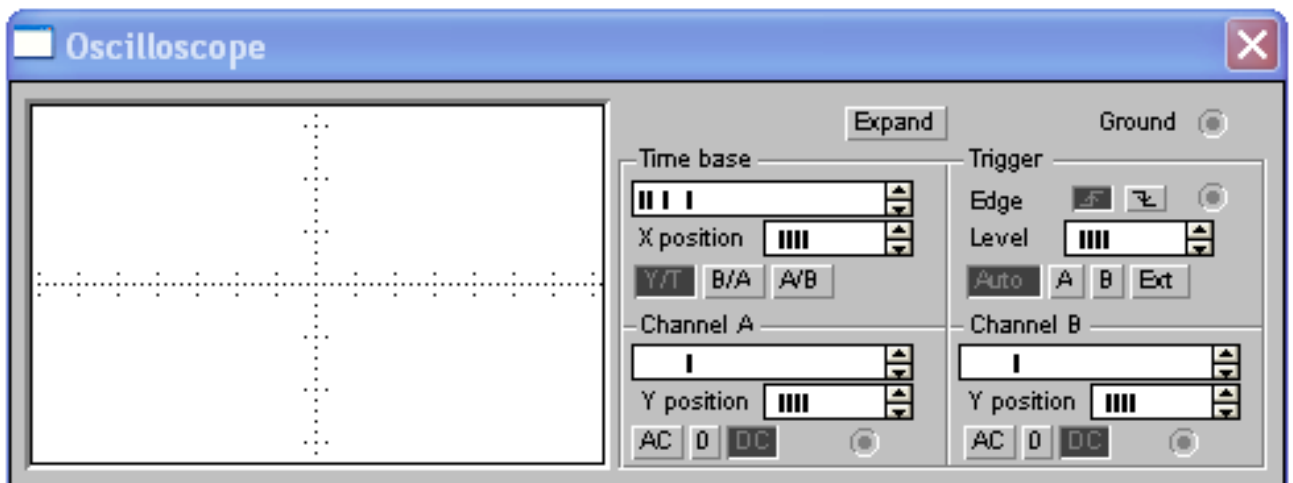


Рисунок 3

Режим развертки выбирается кнопками . В режиме Y/T (обычный режим, включен по умолчанию) реализуются следующие режимы развертки: по вертикали - напряжение сигнала, по горизонтали - время; в режиме B/A: по вертикали - сигнал канала B, по горизонтали - сигнал канала A; в режиме A/B: по вертикали - сигнал канала A, по горизонтали - сигнал канала B.

В режиме Y/T длительность развертки (TIME BASE) может быть задана в диапазоне от 0,1 нс/дел (ns/div) до 1 с/дел (s/div) с возможностью установки смещения в тех же единицах по горизонтали, т. е. по оси X (X POS).

В режиме Y/T предусмотрен также ждущий режим (TRIGGER) с запуском развертки (EDGE) по переднему или заднему фронту запускающего сигнала (выбирается нажатием кнопок ) и регулируемом уровне (LEVEL) запуска, а также в режиме AUTO (от канала A или B), от канала A, от канала B или от внешнего источника (EXT), подключаемого к зажиму в блоке управле-



ния TRIGGER. Названные режимы запуска развертки выбираются кнопками

Заземление осциллографа осуществляется с помощью клеммы GROUND в правом верхнем углу прибора.

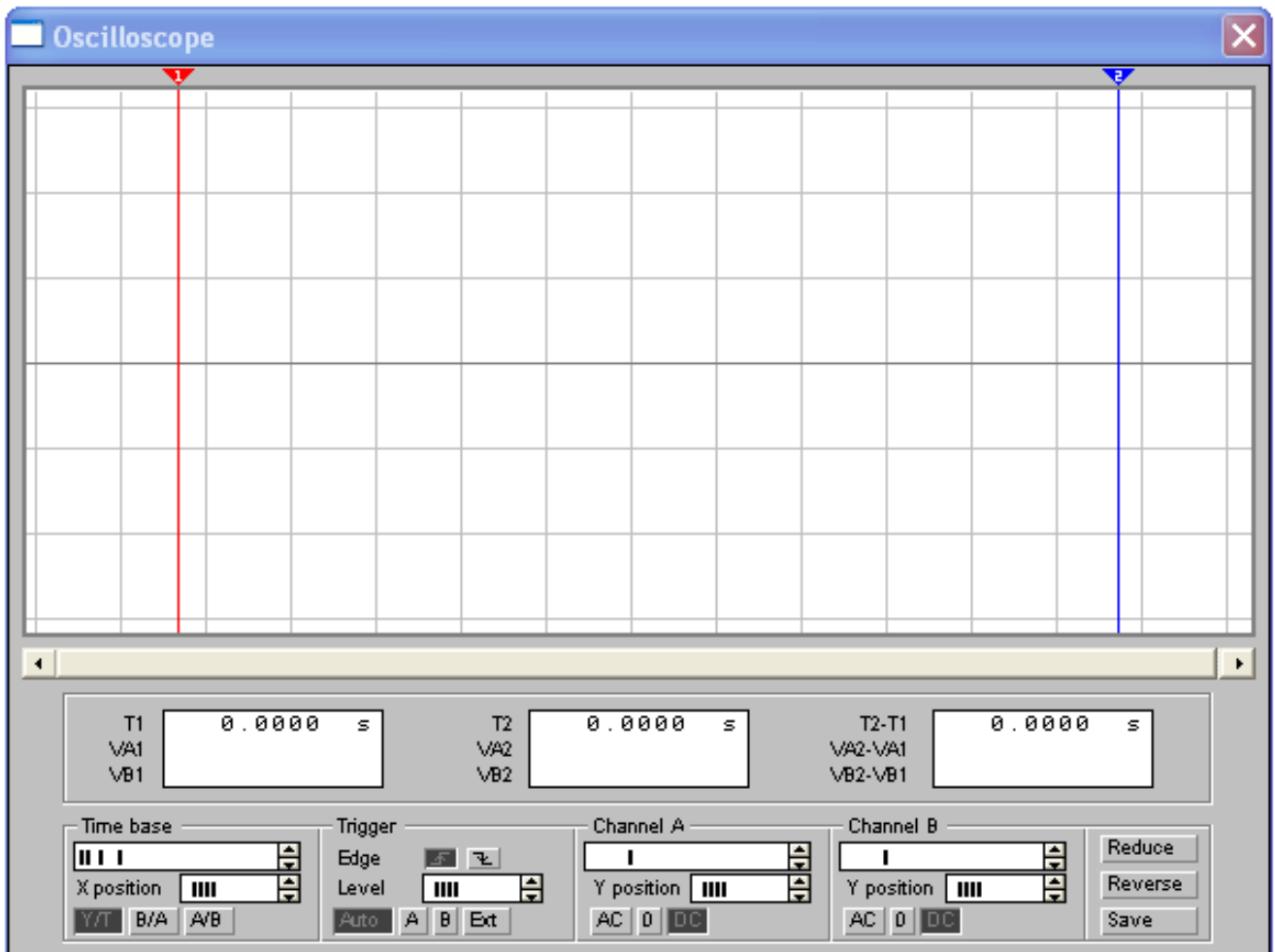


Рисунок 4

При нажатии на кнопку ZOOM лицевая панель осциллографа существенно меняется (рис. 4) - увеличивается размер экрана, появляется возможность прокрутки изображения по горизонтали и его сканирования с помощью вертикальных визирных линий (синего и красного цвета), которые за треугольные ушки (они обозначены цифрами 1 и 2) могут быть курсором установлены в любое место экрана. При этом в индикаторных окошках под экраном приводятся результаты измерения напряжения, временных интервалов и их приращений (между визирными линиями).

Изображение можно инвертировать нажатием кнопки REVERSE и записать данные в файл нажатием кнопки SAVE. Возврат к исходному состоянию осциллографа производится нажатием кнопки REDUCE.

## Лабораторная работа № 1. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ.

Экспериментальное исследование сложных многоконтурных систем постоянного тока. Приобретения навыков расчета таких цепей.

### 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Величина тока в неразветвленной электрической цепи с несколькими источниками определяется отношением алгебраической суммы ЭДС всех источников к полному сопротивлению цепи  $I = \frac{\sum E}{\sum R}$ .

Напряжение на зажимах источника, работающего в режиме потребителя, больше чем ЭДС самого источника на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении этого источника  $U_{\text{нотр}} = E_{\text{нотр}} + IR_{\text{нотр}}$ .

Напряжение на клеммах источника, работающего в режиме генератора, меньше, чем ЭДС источника на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении этого источника  $U_{\text{ген}} = E_{\text{ген}} - IR_{\text{ген}}$ .

Напряжение на любом участке  $U = E \pm IR$ .

Потенциальная диаграмма представляет собой график изменения потенциалов точек цепи от величины сопротивлений участков между этими точками.

Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов в ветвях, соединенных в один узел, равна нулю. Токи, входящие в узел, принято считать положительными, а выходящие – отрицательными.

Второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма ЭДС в замкнутом контуре электрической цепи равна алгебраической сумме падений напряжений на всех участках этой цепи, т.е.  $\sum E = \sum IR$ . ЭДС источника, совпадающая с выбранным направлением обхода контура, считается положительным, а не совпадающая – отрицательной.

Метод свертывания:

Схема упрощается по возможности до такой, в которой применим закон Ома.

Метод наложения:

1. В каждой ветви рассматриваемой цепи направление тока выбирается произвольно
2. Количество расчетных схем цепи равно количеству источников в исходной схеме
3. в каждой расчетной схеме действует только один источник, а остальные источники заменяются их внутренними сопротивлениями.

4. В каждой расчетной схеме методом свертывания определяют частичные токи каждой ветви.
5. Искомые токи каждой ветви рассматриваемой схемы определяются как алгебраическая сумма частичных токов в этой ветви.

### 2.1 Метод контурных токов

Является одним из основных методов расчета сложных цепей. Он заключается в том, что вместо токов в ветвях определяются на основании 2-го закона Кирхгофа так называемые контурные токи. При этом исключаются уравнения 1-го закона Кирхгофа. Уравнения могут быть записаны, если приписать каждой ячейке некоторый контурный ток, совпадающий с током внешних ветвей.

### 2.2 Метод узловых потенциалов

Этот метод позволяет уменьшить число уравнений Кирхгофа за счет исключения уравнений 2-го закона. На схеме принимаем потенциал точки "О" равным нулю.

### 2.3 Метод эквивалентного генератора

Метод расчета тока в выделенной ветви, основанный на замене активного двухполюсника эквивалентным генератором, принято называть методом эквивалентного генератора, а также методом холостого хода и короткого замыкания.

Рекомендуется такая последовательность расчета тока этим методом:

1. найти напряжение на зажимах разомкнутой ветви 12;
2. определить входное сопротивление  $R_{вх}$  всей схемы по отношению к зажимам 12 при закороченных источниках ЭДС и разомкнутых ветвях с источниками тока;
3. подсчитать ток по формуле

$$I = U_{12} / (R + R_{вх})$$

если сопротивление ветви 12 равно нулю  $R = 0$ , то для нее имеет место режим короткого замыкания, а протекающий в ней ток есть ток короткого замыкания

$$I = U_{12} / R_{вх}$$

- 2.4 Потенциальной диаграммой называют график, на котором по оси абсцисс откладывают сопротивления резисторов, а по оси ординат – потенциалы соответствующих точек электрической схемы. Сопротивления резисторов откладывают поочередно друг за другом в том порядке, в котором они следуют при обходе исследуемого участка цепи.

- 2.5 Баланс мощностей. При протекании токов по сопротивлениям в последних выделяется теплота. На основании закона сохранения энергии количество теплоты, выделяющееся в единицу времени в сопротивлениях схемы, должно равняться энергии, доставляемой за тоже время источни-

ком питания. Уравнение энергетического баланса при питании только от источников ЭДС имеет вид  $\sum I^2 R = \sum EI$

Когда схема питается не только от источников ЭДС, но и от источников тока, т.е. к отдельным узлам схемы подтекают и от них утекают токи источников тока, при составлении уравнения энергетического баланса необходимо учесть и энергию, доставляемую источниками тока. Допустим, что к 1-му узлу схемы подтекает ток , а от 2-го узла он утекает. Доставляемая источником тока мощность равна  $U_{12}I$  . Тогда общий вид уравнения энергетического баланса имеет вид  $\sum I^2 R = \sum EI + \sum U_{12}I$

### 3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

1. Для схемы составить для всех узлов и ветвей уравнения Законов Кирхгофа;
2. Определить токи в ветвях используя любой из методов (исходные данные таблица 1)
3. Построить потенциальную диаграмму;
4. Составить баланс мощностей.

### 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ И ПРОГРАММА ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ.

- 4.1 Начертить схему проведения эксперимента, предварительно подключив необходимые приборы.
- 4.2 Изучить схему постоянного тока, записать величины сопротивлений входящих в нее резисторов и определить основные характеристики приборов (пределы измерения и класс точности).
- 4.3 Проведение работы
- 4.4 Сравнить результаты расчета и эксперимента, сделать вывод.
- 4.5 Подготовить бланк отчета и миллиметровую бумагу с чертежом потенциальной диаграммы.



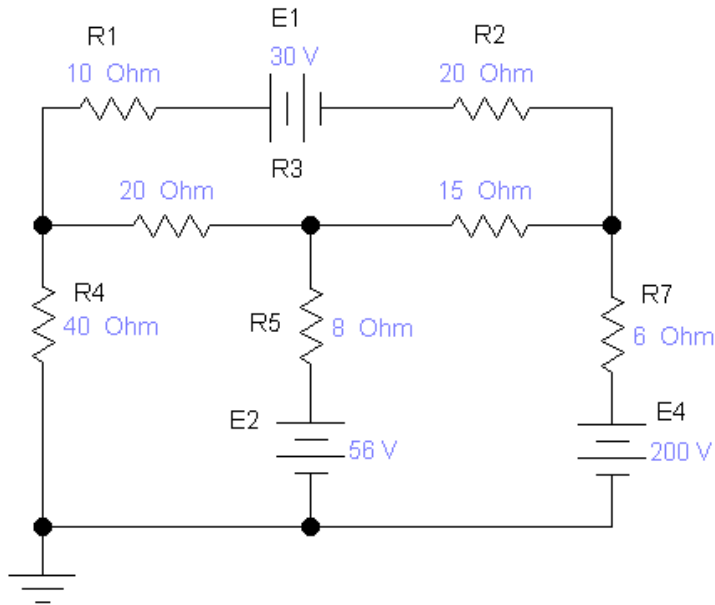


Рисунок 1. схема многоконтурной цепи постоянного тока

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:

- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 6.1 Как с помощью приборов магнитоэлектрической системы определить направление электрического поля и полярность напряжения?
- 6.2 Как записывается для выбранных пассивной и активной ветвей закон Ома?
- 6.3 Что называется узлом и контуром электрической цепи?
- 6.4 Как измерить потенциал точки?
- 6.5 Могут ли токи в ветвях и потенциалы точек иметь отрицательное значение?
- 6.6 Как построить потенциальную диаграмму?
- 6.7 Как по потенциальной диаграмме определить напряжение между двумя точками?
- 6.8 Как определяется величина и направление тока в неразветвленной цепи с несколькими ЭДС?
- 6.9 Как определяется напряжение на клеммах источника, работающего в режиме генератора и в режиме потребителя?
- 6.10. Как определяются потенциалы точек электрической цепи?

- 6.11. Как используются законы Кирхгофа для расчета сложных электрических цепей?
- 6.12. Дайте определение первого и второго законов Кирхгофа.
- 6.13. В чем заключается метод наложения?
- 6.14. Когда и как можно применять метод узлового напряжения?
- 6.15. В чем заключается метод контурных токов?
- 6.16. Когда и как используется метод свертывания, приведите расчетные формулы.

## Лабораторная работа № 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.

### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ.

Изучение амплитудных и фазовых соотношений в последовательной цепи, содержащей резистор, конденсатор и индуктивную катушку.

### 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ.

2.1 На рис.1. изображена схема последовательного соединения элементов цепи синусоидального тока

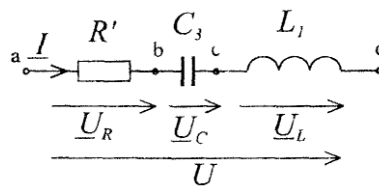


Рис.1. Схема последовательного соединения элементов

Напряжение  $\underline{U}$  равно векторной сумме напряжений на элементах цепи:

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_C + \underline{U}_L$$

$$\text{Здесь } \underline{U}_R = RI; \underline{U}_C = -jI / \omega C; \underline{U}_L = j\omega LI,$$

$$\text{поэтому } \underline{U} = (R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C})\underline{I} = (R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}))\underline{I}.$$

Отсюда следует соотношение между действующими значениями тока и напряжения:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}.$$

Комплексное сопротивление цепи:

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}),$$

а ее полное сопротивление:

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}.$$

При частоте  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  наступает режим резонанса, т.е. режим, при котором ток и напряжение на входе цепи совпадают по фазе, а реактивная часть входного сопротивления равна нулю. В последовательной цепи этот режим называется резонансом напряжений. Векторные диаграммы цепи при различных частотах приведены на рис.2.

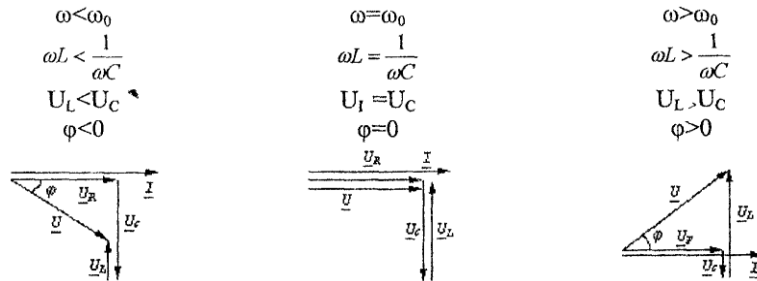


Рис.2. Векторные диаграммы цепи при различных частотах

Из векторных диаграмм видно, что при частотах, отличных от резонансной, угол можно найти по формуле:

$$|\varphi| = \arctg \frac{U_{LC}}{U_R},$$

где  $U_{LC}$  - напряжение на элементах  $L$  и  $C$  (т.е. между точками  $b$  и  $d$  на рис. 1).

### 3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1. Исходные данные таблица 1 и схемы рис. 3,4,5

3.2. По исходным данным определить напряжения на элементах и ток в цепи

3.3. Для случаев RC, RL, RLC построить векторные диаграммы

3.4. Определить активную, реактивную и полную мощности исходных схем

### 4 ХОД РАБОТЫ.

4.1 Изучить описание работы.

4.2 Подготовить бланк отчета и предварительное домашнее задание и миллиметровую бумагу для снятия осциллограмм

4.3 Собрать схему

4.4 Подключить приборы

4.5 Установить частоту и действующее значение и фазу сигнала генератора

4.6 Установить необходимые значения сопротивлений

4.7 Снять показания приборов, определить фазу напряжения и тока

4.8 Сравнить с расчетными, сделать выводы по каждой из схем

4.9 Зарисовать показания осциллографа, сделать выводы.

4.10 Сделайте вывод по работе

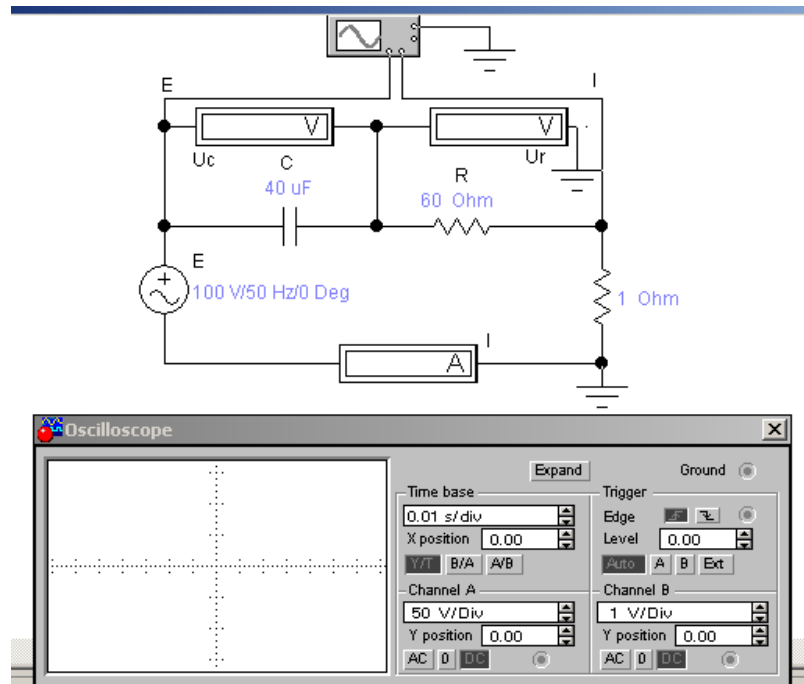


Рис 3. Схема исследования RC- цепочки

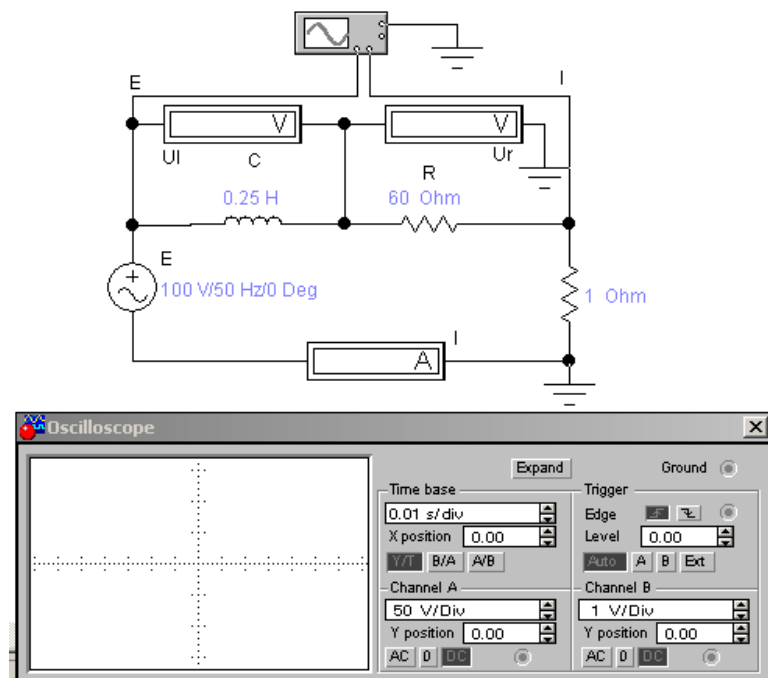


Рис.4 Схема исследования RL-цепочки

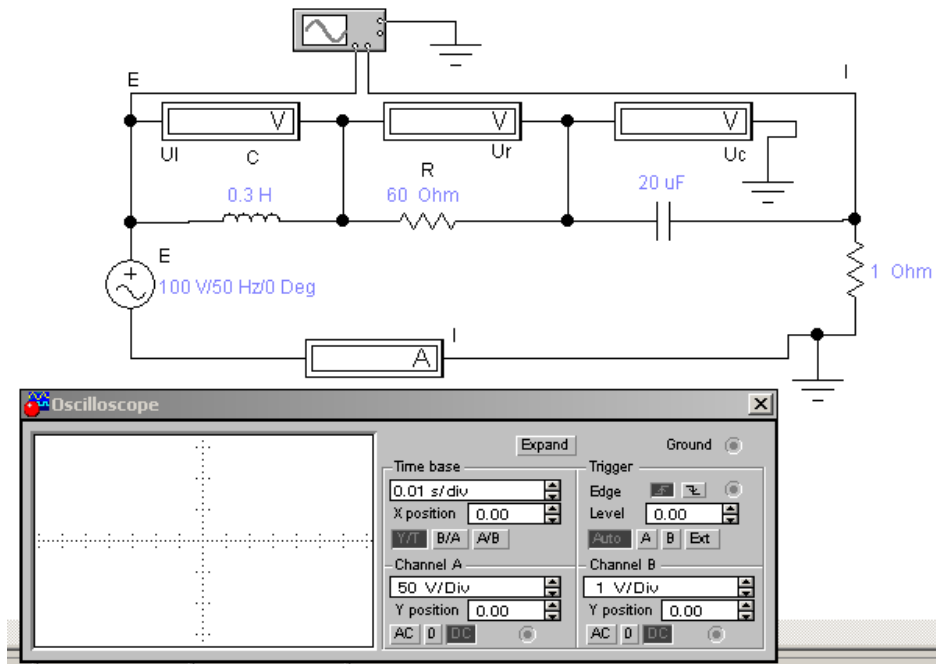


Рис.5 Схема исследования RLC – цепочки

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:

- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 6.1. Полное сопротивление при последовательном соединении RLC элементов
- 6.2. Модуль полного сопротивления при последовательном соединении RLC элементов
- 6.3. Фаза полного сопротивления при последовательном соединении RLC элементов
- 6.4. Формула Эйлера
- 6.5. Как перевести значение тока из комплексной формы в показательную и наоборот
- 6.6. Что называется резонансным режимом цепи синусоидального тока?
- 6.7. Как экспериментально определить резонансную частоту в последовательной цепи  $R, L, C$ ?
- 6.8. В цепи, изображенной на рис.1,  $U_R = 4\text{ В}$ ,  $U_L = 10\text{ В}$ ,  $U_C = 7\text{ В}$ . Чему равны напряжение  $U$  и угол  $\omega$ ?
- 6.9. Почему в реальной цепи в режиме резонанса напряжений  $U_{LC} \neq 0$ ?

- 6.10 Могут ли в цепи, изображенной на рис. 1, напряжения  $U_R$ ,  $U_L$  и  $U_C$  превосходить приложенное к цепи напряжение  $U$ ?
- 6.11 Укажите аналитический путь определения резонансной частоты.

## Лабораторная работа № 4 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ.

### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ.

- Исследование амплитудно-фазовых соотношений для ЭДС в трехфазном генераторе
- Измерение линейных и фазных напряжений
- Исследование амплитудно-фазовых соотношений между токами и напряжениями в 3-х фазных цепях при различных соединениях фаз генератора и нагрузки:
  - А. Соединение звезда-звезда с нулевым проводом
  - В. Соединение звезда-звезда
  - С. Соединение звезда-треугольник
- Исследование несимметричных режимов
- Измерение мощности в трехфазных цепях

### 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Многофазная цепь – это совокупность нескольких электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, отличающиеся друг от друга по фазе и создаваемые общим источником электрической энергии. Отдельные электрические цепи, образующие многофазную систему, называют фазами, число цепей, входящих в систему называют числом фаз.

Совокупность ЭДС, действующих в многофазной системе, называют многофазной системой ЭДС, а совокупность токов, протекающих в этих цепях – трехфазной системой токов.

Многофазный генератор состоит из  $m$  обмоток, сдвинутых друг относительно друга на некоторые углы. Вращая их с постоянной угловой скоростью в однородном магнитном поле, получим  $m$ -многофазный генератор синусоидальных ЭДС, сдвинутых по фазе на углы, равные углам между обмотками.

Многофазная система называется несвязанной, если ее составляющие электрически не соединены между собой, в противном случае система называется связанной.

Существует два основных способа связывания многофазных систем: соединение звездой и соединение многоугольником (треугольником). Соединение звездой выполняют, объединяя начала всех его фаз в одну общую точку, называемую нейтральной точкой. Связь между генератором и нагрузкой может осуществляться при помощи проводов А, В, С, идущих от концов всех обмоток (соединение звезда-звезда), а иногда и от нейтральной точки генератора (звезда-звезда с нейтральным проводом). При этом провода, идущие от обмоток, называют линейными, а провод идущий от нейтральной точки – нейтральным. Соединение обмоток генератора многоугольником осуществляют, соединяя начало обмотки каждой фазы с концом обмотки следующей фазы.



ЭДС, индуцируемые в обмотках генератора, напряжения на зажимах этих обмоток и токи в них называют фазными, а напряжения между соседними линейными проводами и токи в них называют линейными.

Для трехфазной системы

$$e_A = E_m \sin \omega t, e_B = E_m \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right), e_C = E_m \sin \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right) = E_m \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right).$$

$$\underline{E}_A = E,$$

$$\underline{E}_B = \underline{E}_A e^{-j\frac{2\pi}{3}} = E e^{j\frac{4\pi}{3}} = E e^{-j\frac{2\pi}{3}},$$

$$\underline{E}_C = \underline{E}_A e^{-j\frac{4\pi}{3}} = E e^{j\frac{2\pi}{3}} = E e^{-j\frac{4\pi}{3}}.$$

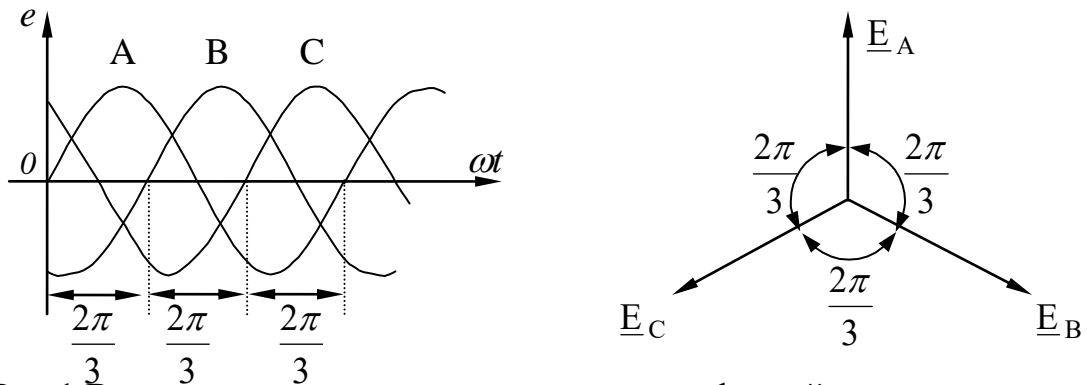


Рис.1 Волновая и векторные диаграммы трехфазной системы генератора

Соотношения между фазными и линейными токами и напряжениями определяются типом соединения и типом нагрузки – симметричной или несимметричной (однородной или неоднородной, равномерной или неравномерной)

Для симметричной нагрузке  $Z_a = Z_b = Z_c, Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}$

При равномерной нагрузке модули сопротивлений равны

$$z_a = z_b = z_c, z_{ab} = z_{bc} = z_{ca}$$

При однородной нагрузке  $\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c, \varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca}$ . Фазный угол каждой фазы  $\varphi_\phi = \arctg(X_\phi / R_\phi)$ , где  $X_\phi, R_\phi$  - реактивная и активная составляющая комплексного сопротивления нагрузки соответствующей фазы.

**Звезда-звезда с нулевым проводом при любой нагрузке:**

$$\text{фазные токи } \underline{I}_a = \underline{U}_a / Z_a; \underline{I}_b = \underline{U}_b / Z_b; \underline{I}_c = \underline{U}_c / Z_c$$

$$\text{ток в нейтральном проводе } \underline{I}_O = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c$$

$$\text{линейное напряжение } U_L = U_\phi \sqrt{3}$$

**Звезда – звезда с нулевым проводом при симметричной нагрузке:**

$$\text{Фазные токи } I_a = I_b = I_c = U_\phi / z_\phi, \text{ ток в нейтральном проводе } \underline{I}_O = 0$$

**Звезда-звезда без нулевого провода при любой нагрузке:**

$$\text{Напряжение смещения нейтрали } \underline{U}_{ON} = \frac{\underline{U}_A \underline{Y}_A + \underline{U}_B \underline{Y}_B + \underline{U}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N}$$

**Звезда-звезда без нулевого провода при симметричной нагрузке:**

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_\phi + \underline{Z}} = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C, \underline{Y}_N = \frac{1}{\underline{Z}_N}, \underline{U}_{ON} = \frac{\underline{Y}_A (\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C)}{3\underline{Y}_A + \underline{Y}_N} = 0.$$

Тогда  $\underline{I}_N = 0$  и нейтральный провод не нужен.

Токи в фазных проводах:

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A - \underline{U}_{ON}}{\underline{Z}_0 + \underline{Z}} = \underline{U}_A \underline{Y}_A,$$

$$\underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B - \underline{U}_{ON}}{\underline{Z}_\Phi + \underline{Z}} = \underline{U}_B \underline{Y}_A,$$

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{U}_C - \underline{U}_{ON}}{\underline{Z}_\Phi + \underline{Z}} = \underline{U}_C \underline{Y}_A$$

одинаковые по величине и последовательно смещены по фазе на  $120^\circ$ , то есть

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0.$$

Линейные токи равны фазным

Несмотря на заметное удорожание линии электропередачи при использовании нейтрального провода, его тем не менее в потребительской сети применяют вследствие возможной несимметрии системы. При этом сечение нулевого провода берут или равным сечению линейного провода, или даже меньшим.

### Звезда-треугольник при любой нагрузке

фазные напряжения  $\underline{U}_\Phi = \underline{U}_{ab} = \underline{U}_{bc} = \underline{U}_{ca}$

линейные напряжения  $\underline{U}_\Phi = \underline{U}_\Delta$

линейные токи  $\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}, \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}, \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}.$

### Звезда-треугольник при симметричной нагрузке

линейные токи  $I_\Delta = \sqrt{3}I_\Phi; \underline{I}_\Delta = \underline{I}_a = \underline{I}_b = \underline{I}_c$

фазные токи  $\underline{I}_\Phi = \underline{I}_{ab} = \underline{I}_{bc} = \underline{I}_{ca} = \underline{U}_\Phi / Z$

### Мощность в трехфазной системе:

Активная  $P_A + P_B + P_C = P,$

$$P = 3U_\Phi I_\Phi \cos \varphi \quad U_\Phi I_\Phi = \frac{U_o I_o}{\sqrt{3}}, \quad P = 3U_\Phi I_\Phi \cos \varphi = \sqrt{3}UI \cos \varphi, \text{ где индекс « } \Delta \text{ » (линейные}$$

величины) обычно опускается .

При симметричной нагрузке фаз  $P = 3P_\Phi$ . Система, обладающая таким свойством , называется уравновешенной.

Реактивная мощность  $Q = Q_A + Q_B + Q_C$

или при симметричной нагрузке  $Q = 3U_\Phi I_\Phi \sin \varphi = \sqrt{3}UI \sin \varphi .$

Полная мощность при симметричной нагрузке  
 $S = 3U_\Phi I_\Phi = \sqrt{3} \cdot UI, S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Измерение мощности в трехфазной системе можно проводить тремя и двумя ваттметрами. Схема с тремя ваттметрами предполагает наличие нулевого провода, а схема с двумя ваттметрами (схема Арона) более универсальна: показания ваттметров в этой схеме определяется по формулам:

$$P_1 = U_\Delta I_\Delta \cos(\varphi - 30^\circ); \quad P_2 = U_\Delta I_\Delta \cos(\varphi + 30^\circ); \quad \varphi = \arctg \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}$$

при симметричной нагрузке  $P_1 + P_2 = U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi$ ;  $P_1 - P_2 = U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi$

### 3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Соединение звезда-звезда с симметричной нагрузкой рис. 2,3

3.1.1 По исходным данным табл.1 определить значения линейных и фазных токов и напряжений

3.1.2. По полученным значениям п.3.1.2. определить активную, реактивную и полную мощности нагрузки.

3.1.3. Построить векторную диаграмму токов и напряжений

3.2. Соединение звезда-звезда с несимметричной нагрузкой рис.4

3.2.1. Повторить пункты 3.1.1.-3.1.3

3.3. Соединение звезда-треугольник с симметричной нагрузкой рис.5

3.3.1. По исходным данным табл.2. определить значения линейных и фазных токов и напряжений

3.3.2 Повторить пункты 3.1.2.-3.1.3

3.4. Соединение звезда-треугольник с несимметричной нагрузкой рис.6

3.4.1. Повторить пункты 3.1.1.-3.1.3

### 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ И ПРОГРАММА ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЯ.

- a. Изучить описание работы.
- b. Подготовить бланк отчета и миллиметровую бумагу для снятия осциллограмм.
- c. Собрать схему
- d. Подключить приборы
- e. Установить частоту и действующие значение и фазу сигнала генераторов
- f. Установить необходимые значения сопротивлений каждой из фаз
- g. Снять показания приборов
- h. Сравнить с расчетными, сделать выводы по каждому из соединений
- i. Зарисовать показания осциллографа, сделать выводы.
- j. Сделайте вывод по работе

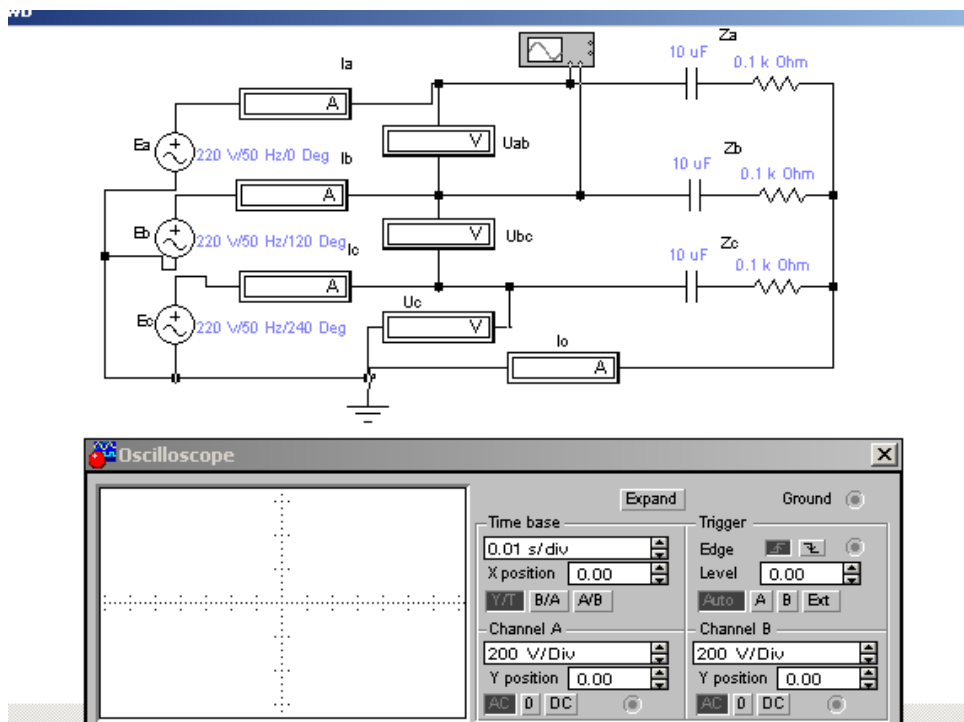


Рис.2 Схема моделирования системы звезда-звезда с симметричной нагрузкой (осциллограф измеряет линейное напряжение)

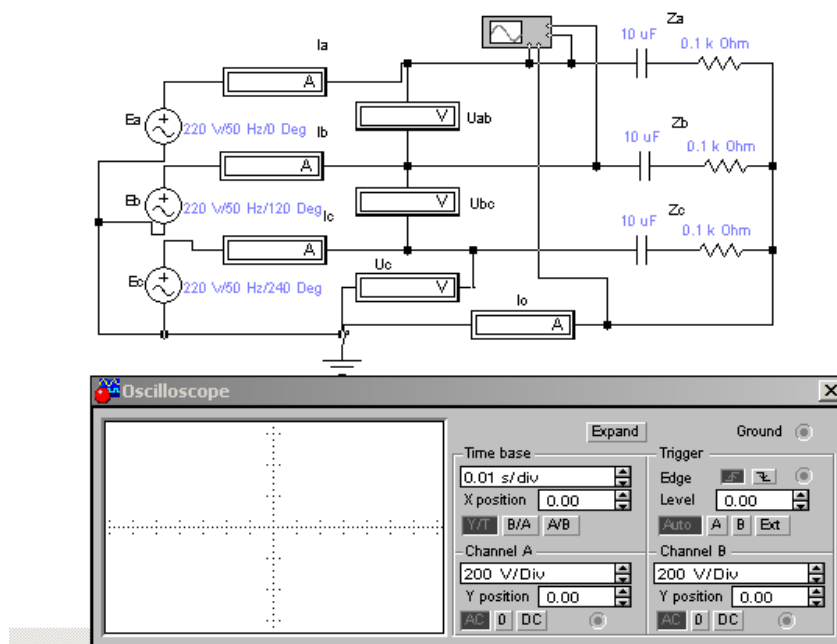
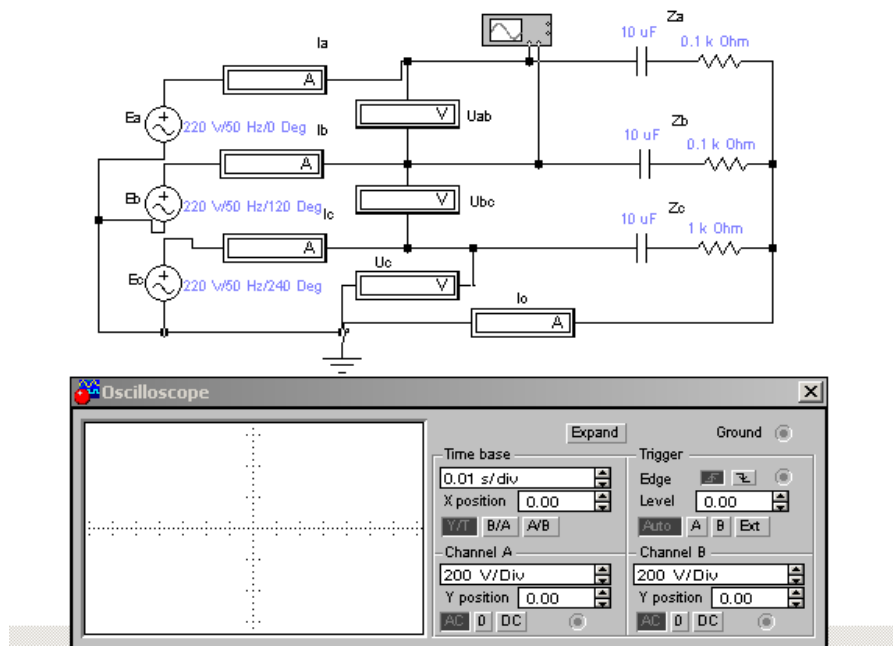


Рис.3 Схема моделирования системы звезда-звезда с симметричной нагрузкой (осциллограф измеряет фазное и линейное напряжения)



$$Z_a \neq Z_b \neq Z_c$$

Рис. 4. Схема моделирования системы звезда-звезда с несимметричной нагрузкой

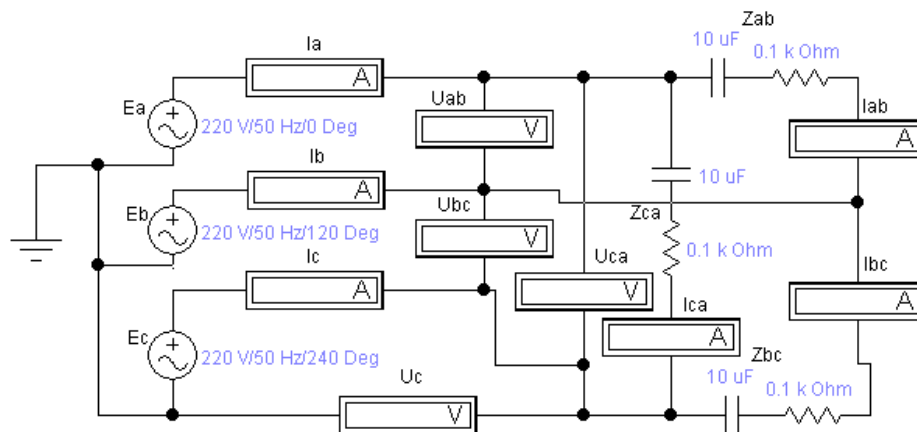


Рис.5 Схема моделирования системы звезда – треугольник с симметричной нагрузкой

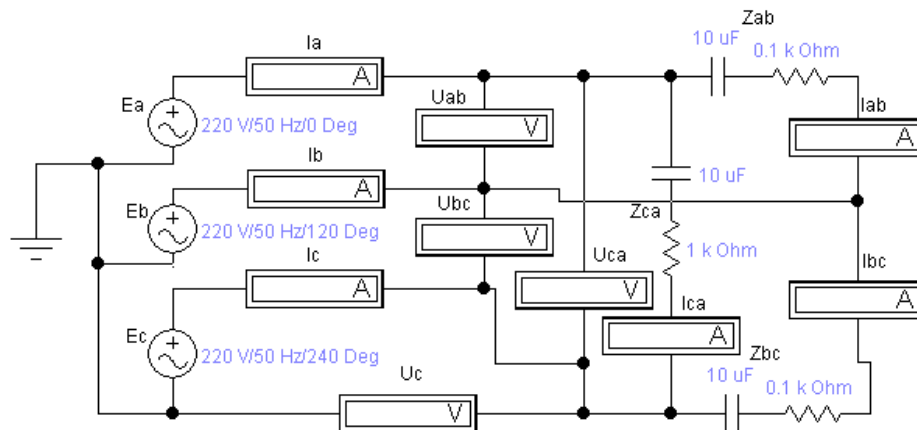


Рис. 6 схема моделирования звезда – треугольник с несимметричной нагрузкой

$$Z_{ab} \neq Z_{bc} \neq Z_{ca}$$

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:

- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 6.1 Дайте определение многофазной системы
- 6.2 Что такое трехфазная система и какие схемы соединения источников ЭДС с потребителями применяются. Достоинства и недостатки различных схем соединения.
- 6.3 Составьте выражения для мгновенных значений фазных ЭДС и их комплексов для двух, четырех, шести и двенадцатифазных систем.
- 6.4 Какая нагрузка называется симметричной, равномерной и однородной
- 6.5 Укажите соотношения между фазовыми и линейными токами и напряжениями в различных схемах соединения
- 6.6 Как изменяется при симметричной нагрузке мгновенное значение в каждой фазе и суммарная мгновенная мощность
- 6.7 Что понимают под смещением нейтрали, в каких случаях это возникает и как определить
- 6.8 Необходимость нейтрального провода
- 6.9 Что понимают под активной, реактивной и полной мощности 3-х фазной системы. Приведите расчетные формулы.
- 6.10 Зарисуйте схему измерения мощности тремя ваттметрами
- 6.11 Зарисуйте схему Арона
- 6.12 Как изменяется мощность потребляемая симметричной нагрузкой при переключении ее со звезды в треугольник

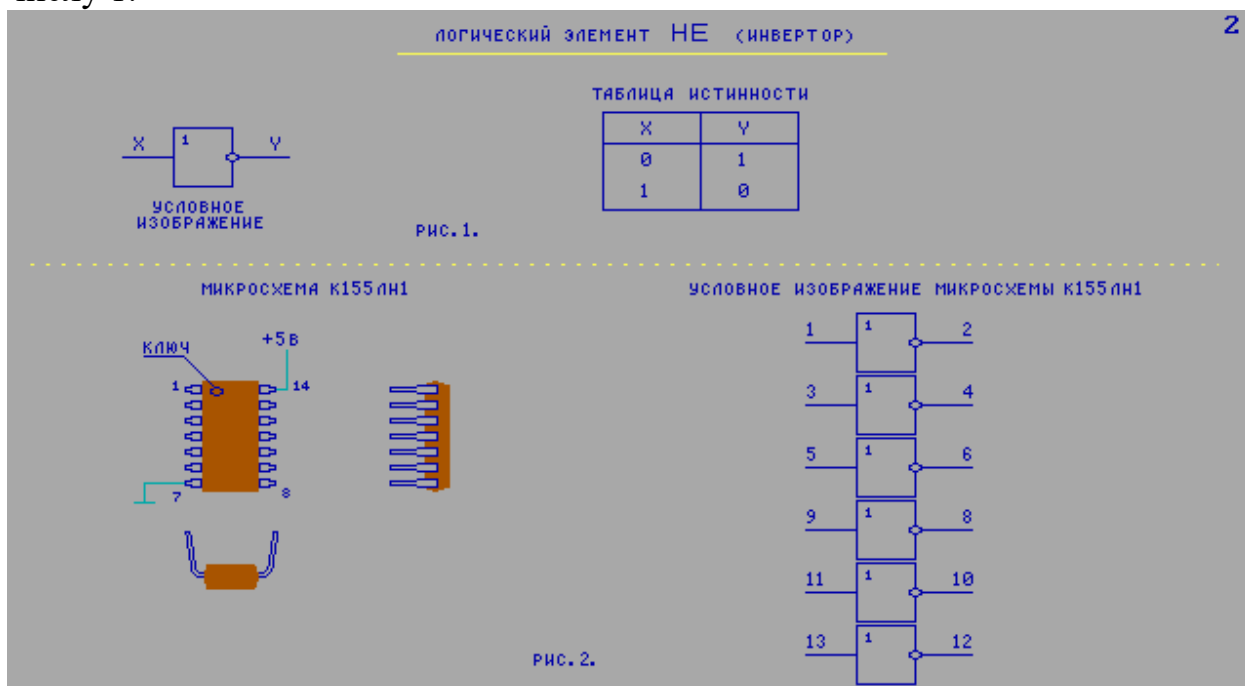
## Лабораторная работа №5 ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ:

Углубить и закрепить знания по разделу Логические элементы.

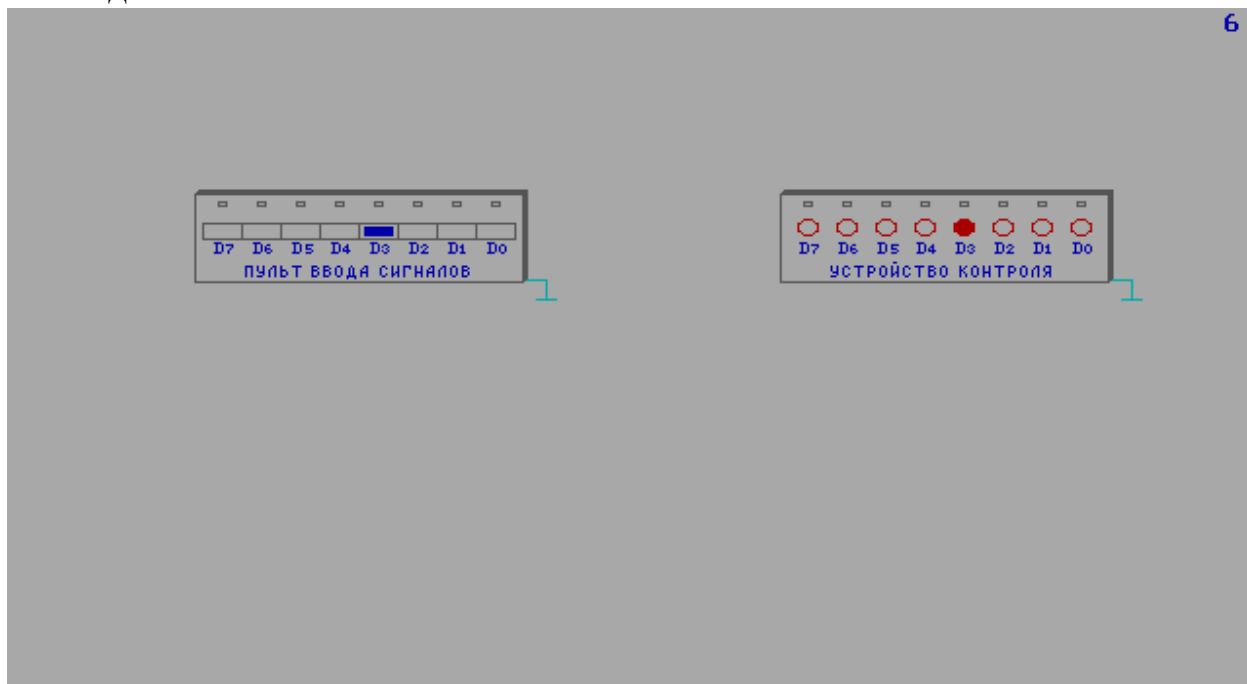
### 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Логические элементы широко применяются в цифровых измерительных приборах, устройствах автоматики и вычислительной технике. Они выполняют простейшие логические операции над цифровой информацией. Логические элементы выполняются в виде микросхем. В качестве активных элементов цифровых микросхем применяются биполярные и полевые транзисторы. На входах и выходах цифровых микросхем могут появляться лишь два характерных уровня напряжения: низкое (около 0 В) и высокое (например, 5 В). Низкий уровень напряжения соответствует двоичному числу 0, а высокий - двоичному числу 1.

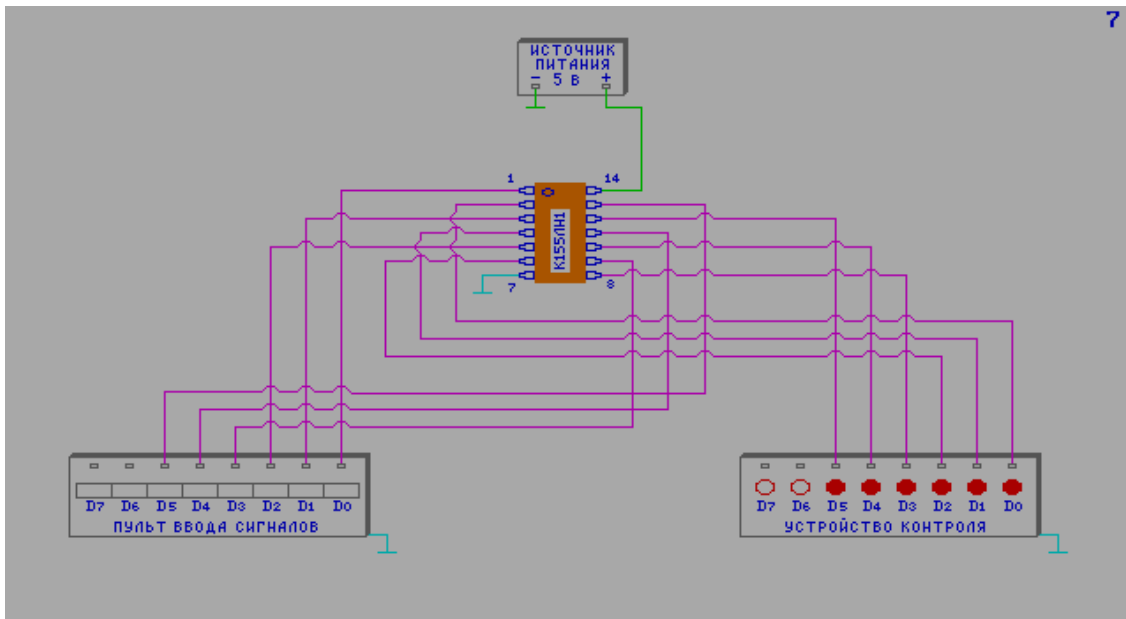


Логический элемент НЕ (инвертор) (рис.1.). Инвертор имеет один вход X и один выход Y. Сигнал на его выходе всегда противоположен входному. То, что выходной сигнал противоположен входному изображается на схеме элемента кружком на выходе. На рис.2. приведен рисунок микросхемы К155ЛН1 и ее условное изображение. Микросхема содержит 6 элементов НЕ. На схеме указаны номера ножек микросхемы. Питание подается на 7 и 14 ножки микросхемы. 14 ножка подключается к положительному полюсу источника питания. На корпусе микросхемы имеется метка (ключ), указывающая первую ножку. Изучение логических элементов будем сопровождать экспериментами.

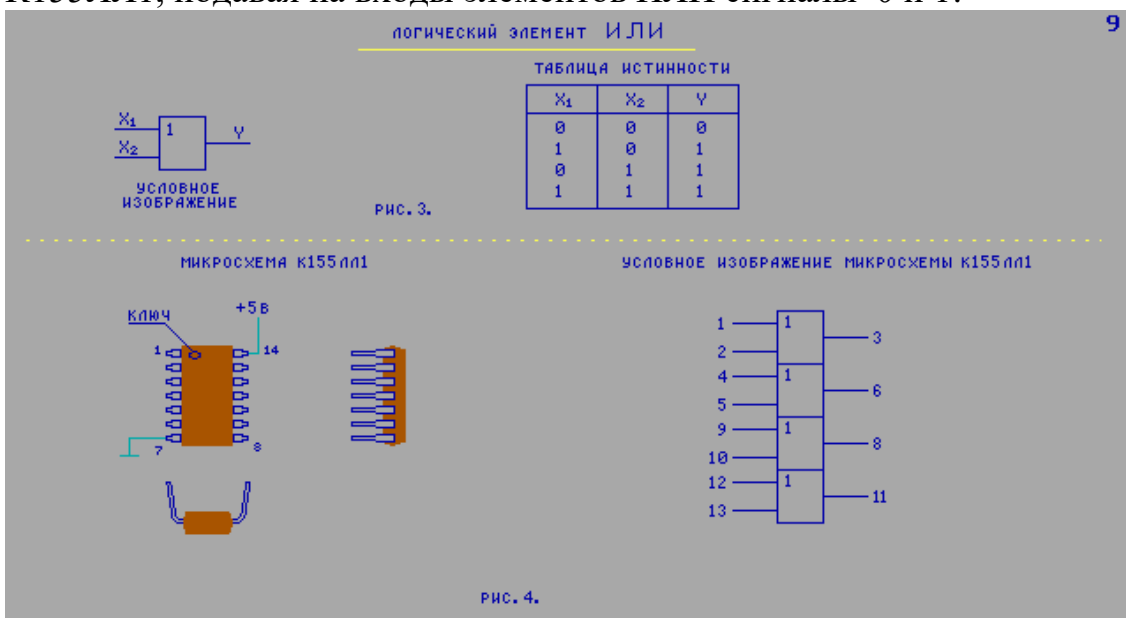
Ввод сигналов +5 В или 0 В будет осуществляться с помощью пульта, а индикация напряжения на выходах элементов - с помощью устройства контроля. Изображение пульта ввода сигналов и устройства контроля приведено на странице 6. На пульте ввода сигналов расположены 8 кнопок, обозначенных D7...D0 и зажимы для подключения внешних устройств. Любая из кнопок может находиться в состоянии <выключено> или <включено>. Включенному состоянию соответствует закрашенный прямоугольник кнопки. Включение и выключение кнопки осуществляется нажатием на соответствующую клавишу 7...0. В положении <выключено> напряжение между соответствующим зажимом и корпусом пульта равно нулю (значение сигнала 0). Когда какая-либо кнопка включена, напряжение между соответствующим зажимом и корпусом пульта равно +5 В (значение сигнала 1). Таким образом, если кнопка включена сигнал равен 1, если выключена - 0. Устройство контроля содержит восемь светодиодов D7...D0. Свечение светодиода свидетельствует о том, что соответствующее напряжение имеет высокий уровень (+5 В), т.е. сигнал равен 1. На странице 7 Вы можете экспериментировать с микросхемой К155ЛН1, подавая на входы элементов НЕ сигналы 0 и 1.

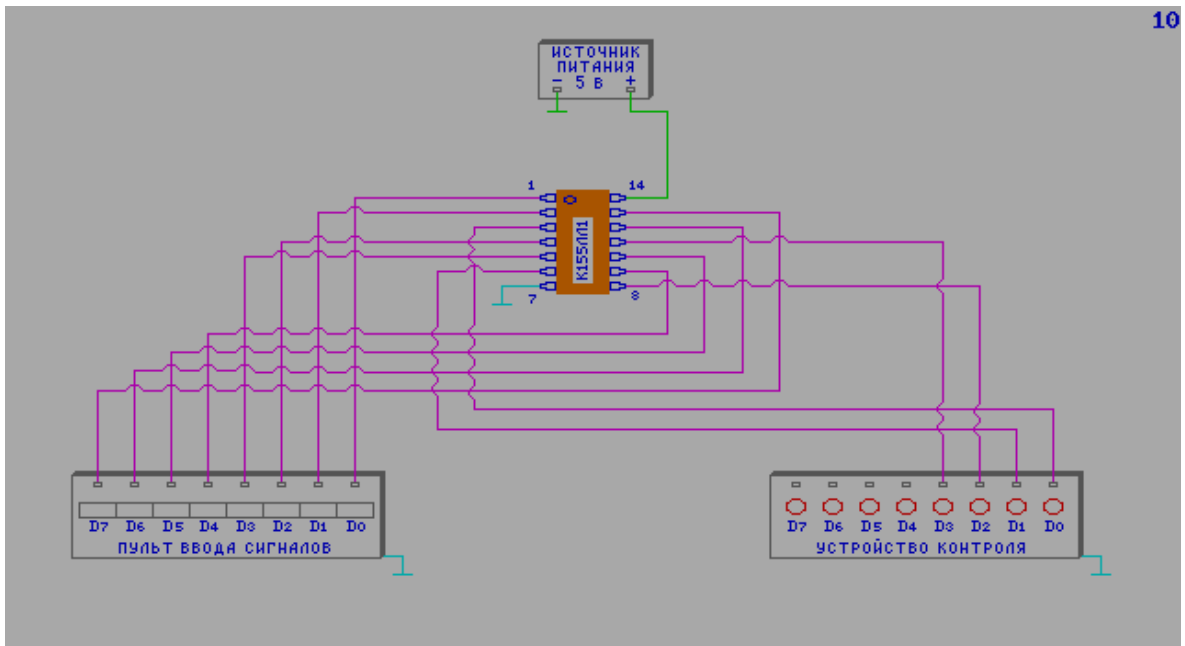




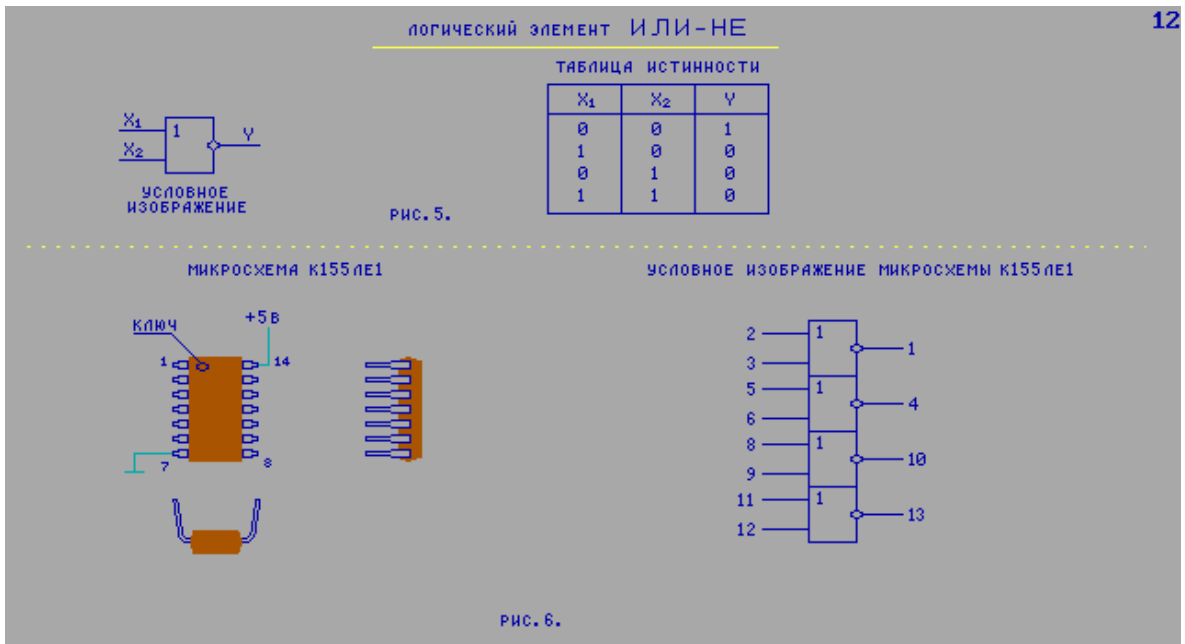


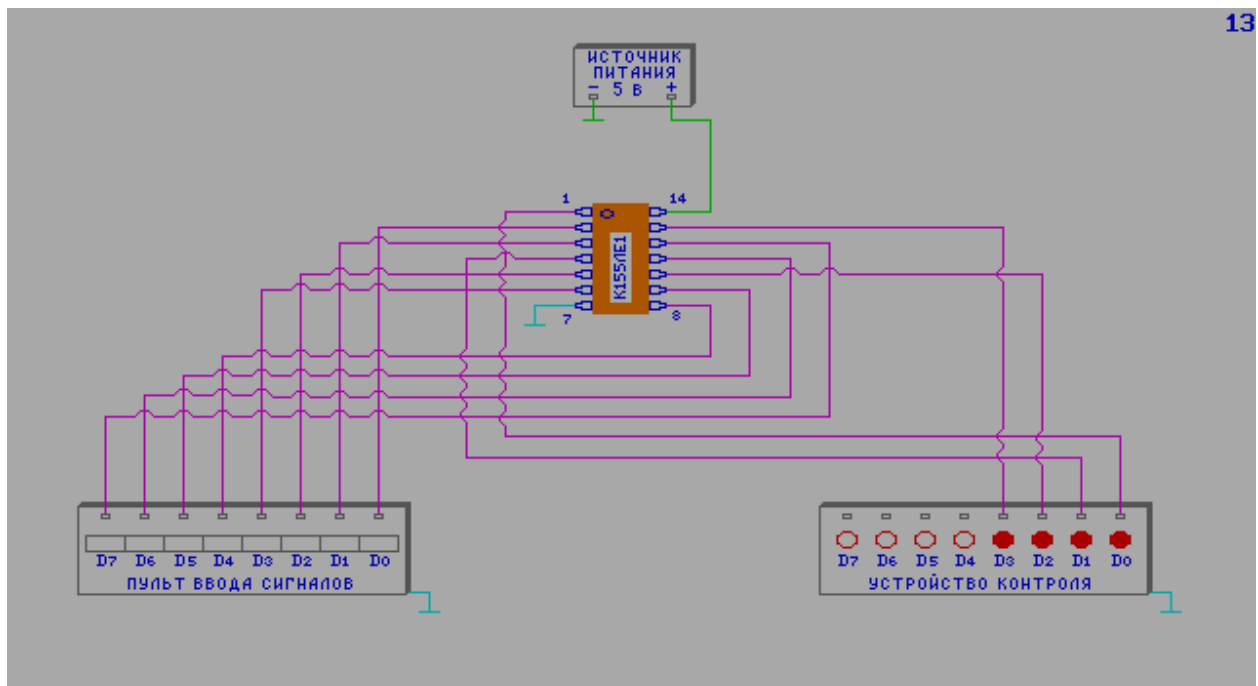
Логический элемент ИЛИ может иметь два и более входов и один выход. Напряжение низкого уровня (состояние логического нуля) существует на выходе только при отсутствии напряжений высокого уровня (состояний логических единиц) на любом из входов. При наличии напряжения высокого уровня хотя бы на одном из входов на выходе будет напряжение высокого уровня. На рис.3 приведено условное изображение логического двухвходового элемента ИЛИ его таблица истинности. На рис.4 приведен рисунок микросхемы К155ЛЛ1 и ее условное изображение. Микросхема К155ЛЛ1 содержит четыре элемента 2ИЛИ. Далее Вы можете экспериментировать с микросхемой К155ЛЛ1, подавая на входы элементов ИЛИ сигналы 0 и 1.



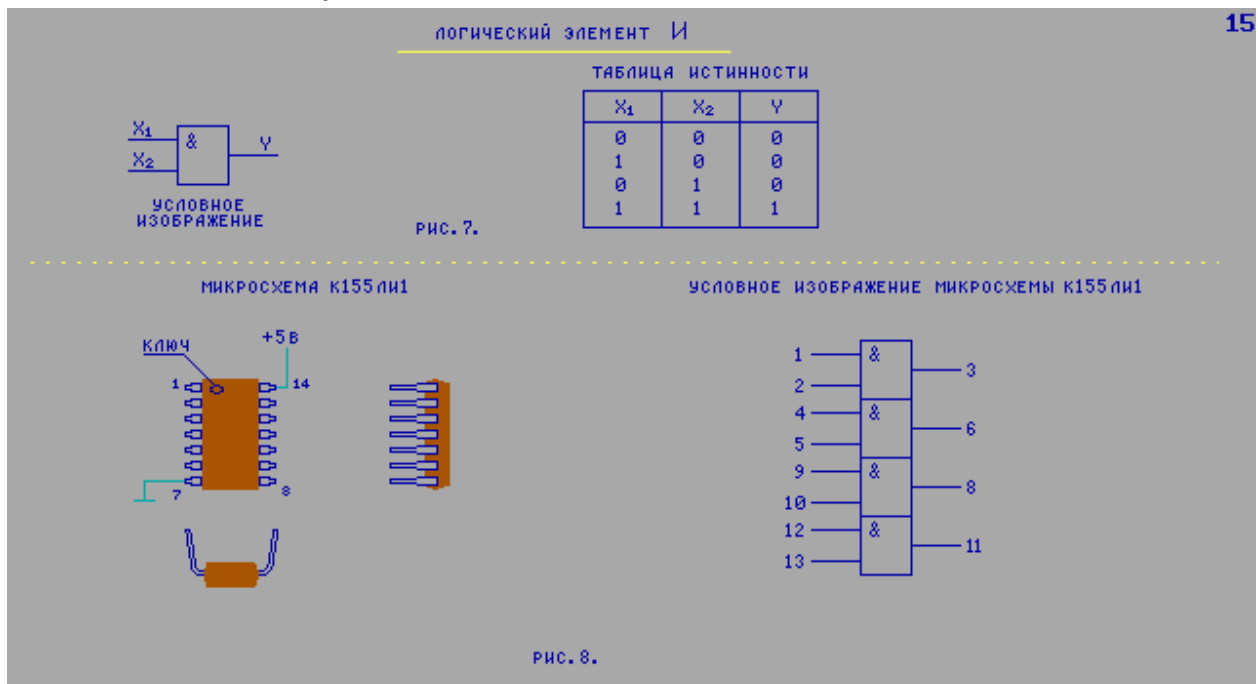


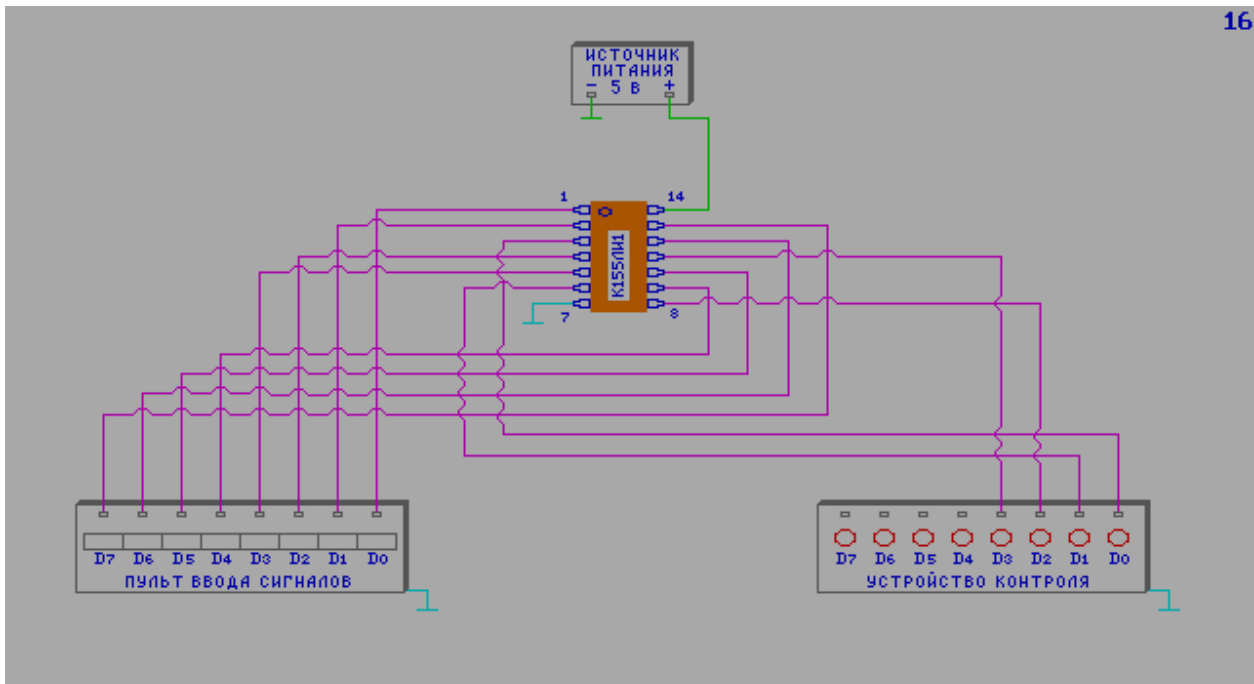
Логический элемент ИЛИ-НЕ может иметь два и более входов и один выход. Напряжение низкого уровня (состояние логического нуля) существует на выходе, если хотя бы на одном входе имеется напряжение высокого уровня (состояние логической единицы). При отсутствии напряжений на обоих входах на выходе будет напряжение высокого уровня. На рис.5 приведено условное изображение логического двухвходового элемента ИЛИ-НЕ и его таблица истинности. На рис.6 приведен рисунок микросхемы К155ЛЕ1 и ее условное изображение. Микросхема К155ЛЕ1 содержит четыре элемента 2ИЛИ-НЕ. Далее Вы можете экспериментировать с микросхемой К155ЛЕ1, подавая на входы элементов ИЛИ-НЕ сигналы 0 и 1.



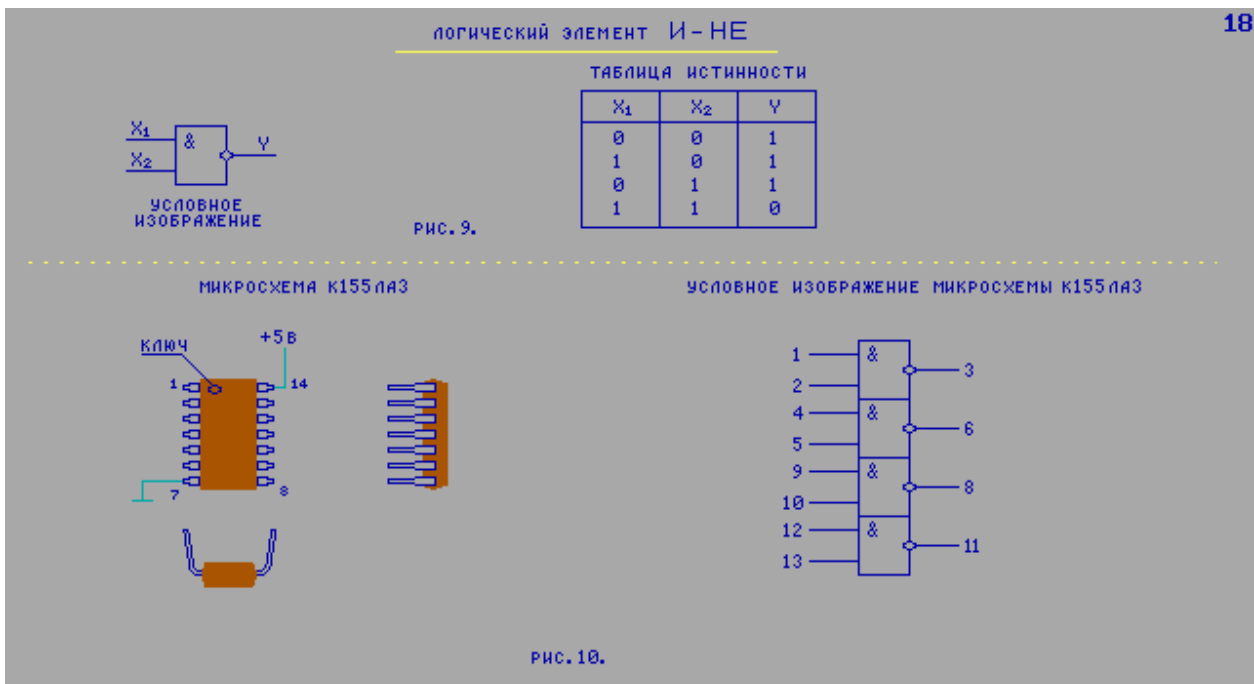


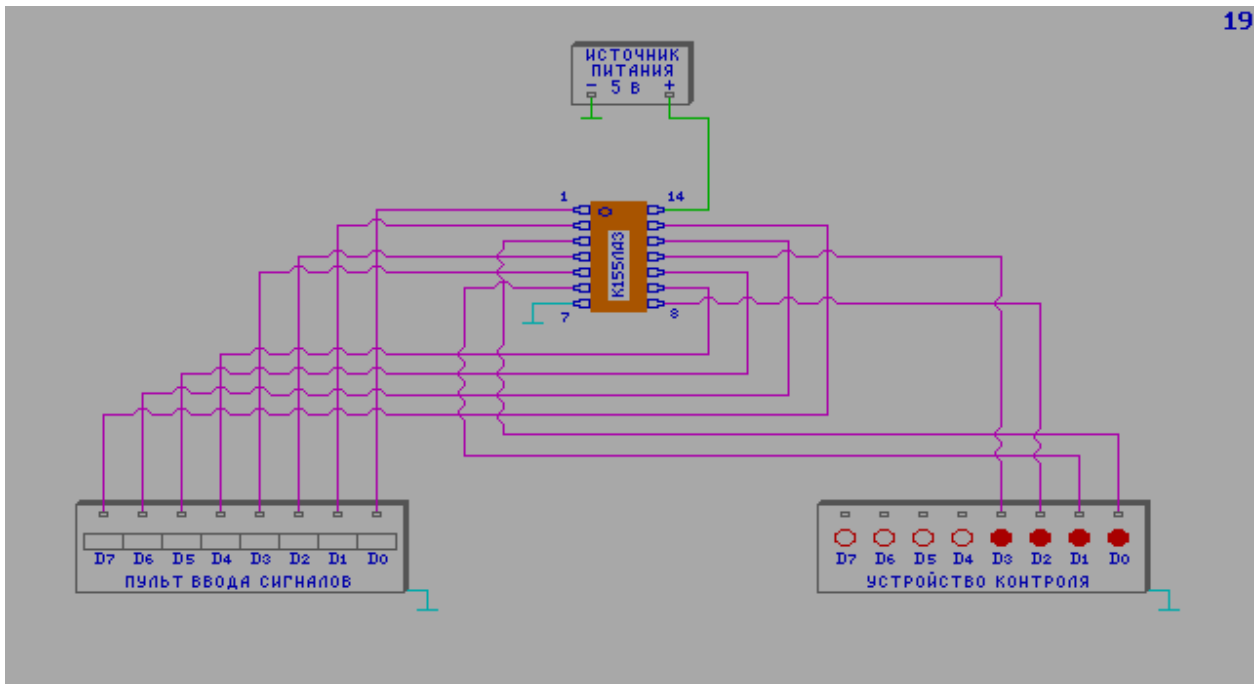
Логический элемент И может иметь два и более входов и один выход. Напряжение высокого уровня (состояние логической единицы) будет на выходе только в том случае если будут напряжения высокого уровня на всех входах (и на первом и на втором и на третьем и т.д.). На рис.7 приведено условное изображение логического двухвходового элемента И и его таблица истинности. На рис.8 приведен рисунок микросхемы К155ЛИ1 и ее условное изображение. Микросхема К155ЛИ1 содержит четыре элемента 2И. Далее Вы можете экспериментировать с микросхемой К155ЛИ1, подавая на входы элементов И сигналы 0 и 1.



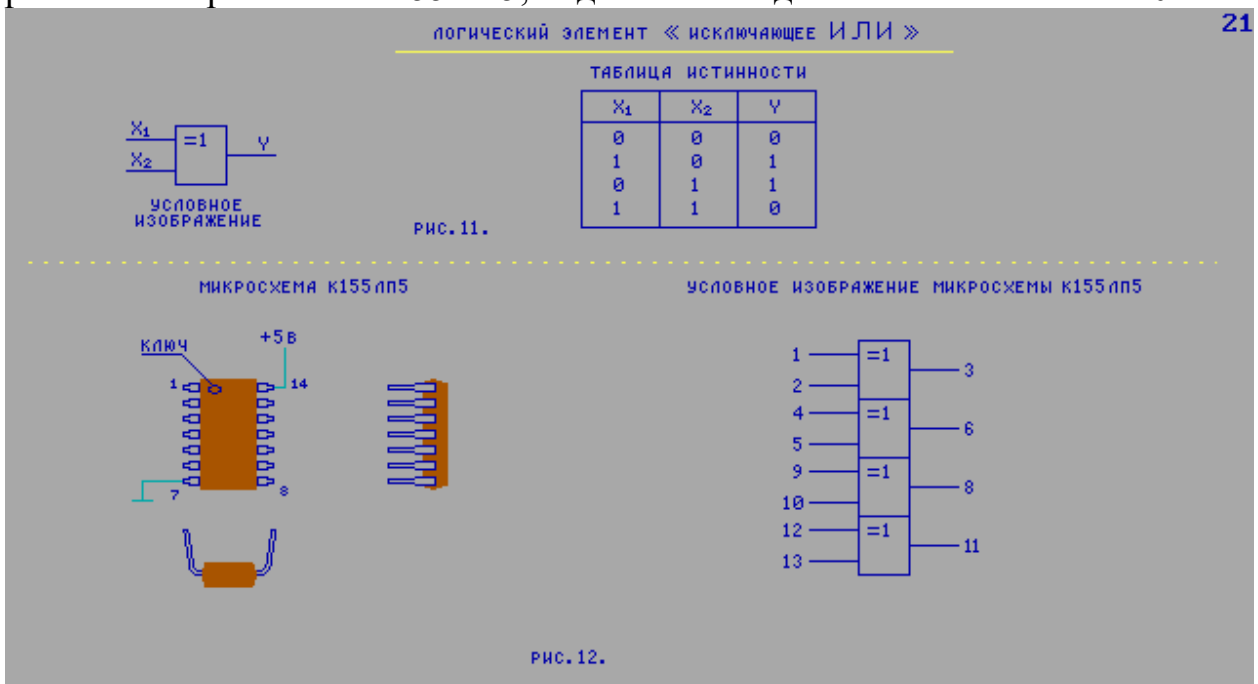


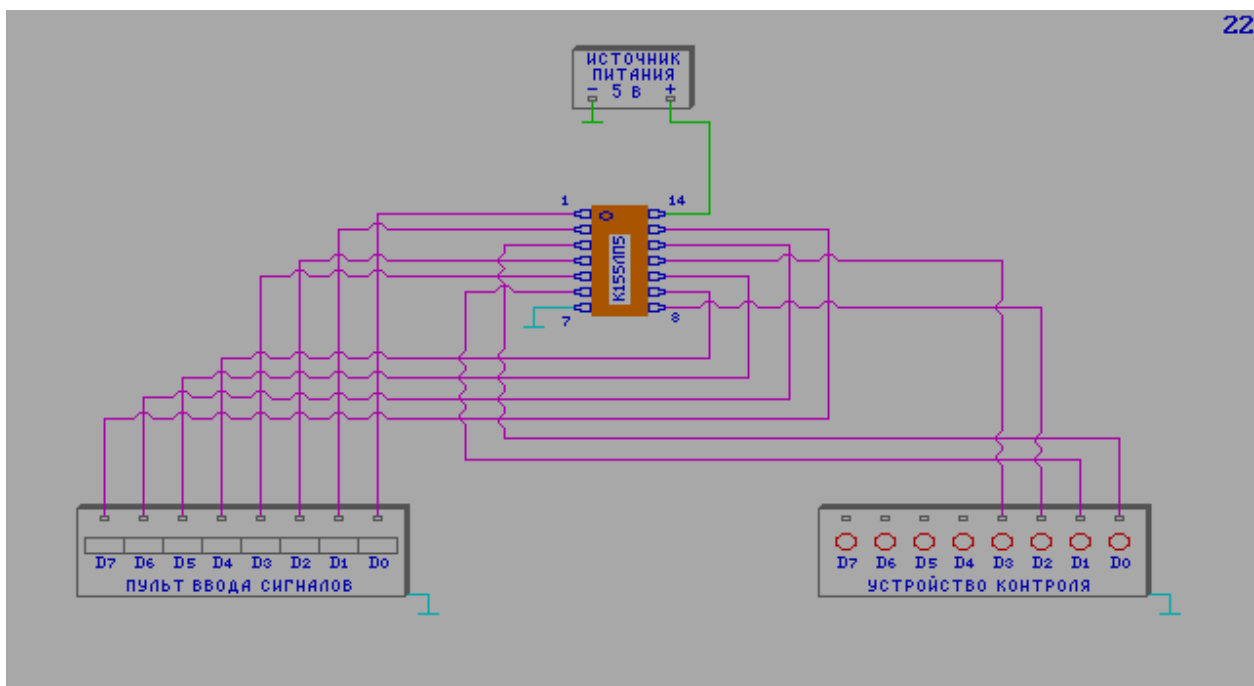
Логический элемент И-НЕ может иметь два и более входов и один выход. Напряжение низкого уровня (состояние логического нуля) существует на выходе только при напряжениях высокого уровня (состояниях логических единиц) на всех его входах. На рис.9 приведено условное изображение логического двухвходового элемента И-НЕ и его таблица истинности. На рис.10 приведен рисунок микросхемы K155ЛАЗ и ее условное изображение. Микросхема K155ЛАЗ содержит четыре элемента 2И-НЕ. Далее Вы можете экспериментировать с микросхемой K155ЛАЗ, подавая на входы элементов И-НЕ сигналы 0 и 1.





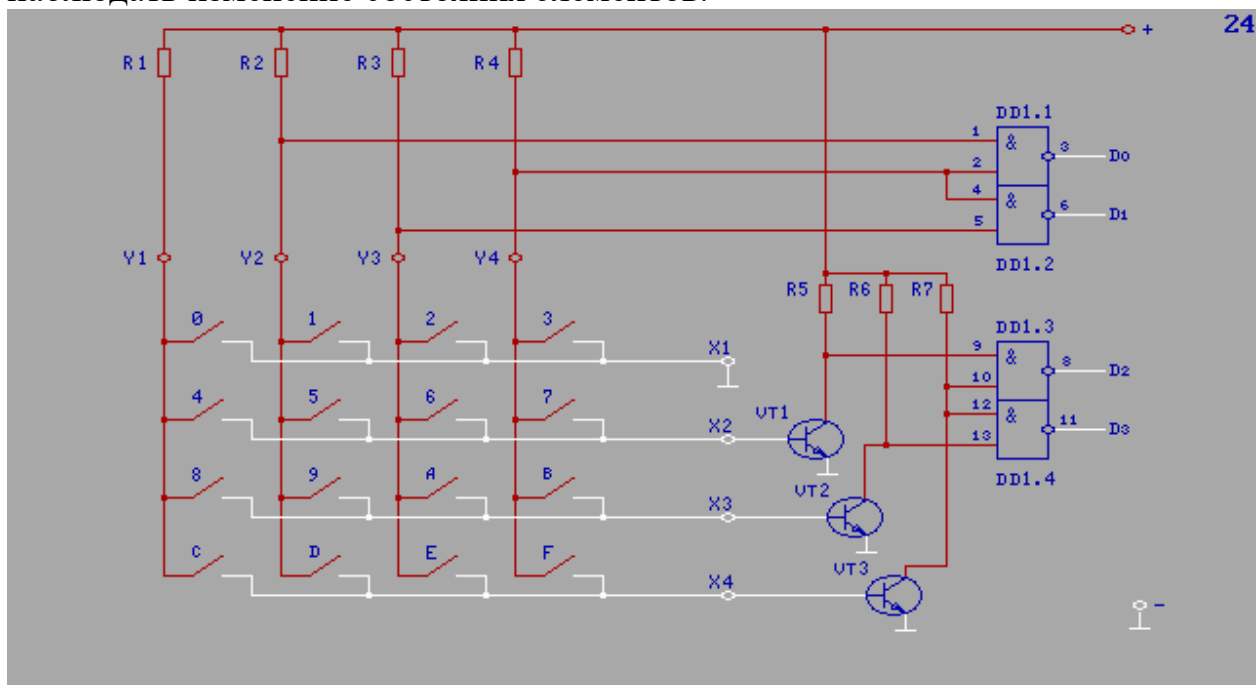
Напряжение высокого уровня (состояние логической единицы) существует на выходе только при несовпадении уровней напряжений на входах. Напряжение низкого уровня (состояние логического нуля) на выходе будет в том случае, когда на обоих входах будут напряжения низкого или высокого уровня. На рис.11 приведено условное изображение логического элемента <<исключающее ИЛИ>> и его таблица истинности. На рис.12 приведен рисунок микросхемы К155ЛП5 и ее условное изображение. Микросхема К155ЛП5 содержит четыре элемента <<исключающее ИЛИ>>. На странице 22 Вы можете экспериментировать с микросхемой К155ЛП5, подавая на входы элементов сигналы 0 и 1.





- Шифратор (пример применения логических элементов)

На следующей странице приведена схема, обеспечивающая получение шестнадцатиричного кода нажатой клавиши. В схеме используется микросхема К155ЛА3, содержащая четыре логических элемента 2И-НЕ. Выходные сигналы этих элементов определяют код нажатой клавиши. Вы можете, нажимая на клавиши клавиатуры компьютера, соответствующие указанным на схеме кнопкам, наблюдать изменение состояния элементов.



Элементы и проводники, находящиеся под напряжением высокого уровня окрашены в красный цвет, а находящиеся под напряжением низкого уровня - в белый цвет. Когда кнопки выключены, транзисторы VT1-VT3 закрыты и на всех входах логических элементов DD1.1-DD1.4 присутствуют логические единицы, а на выходах - логические нули. Замыкание кнопок вызывает появление логических нулей на входах логических элементов. Замыкание кнопок с 4 по

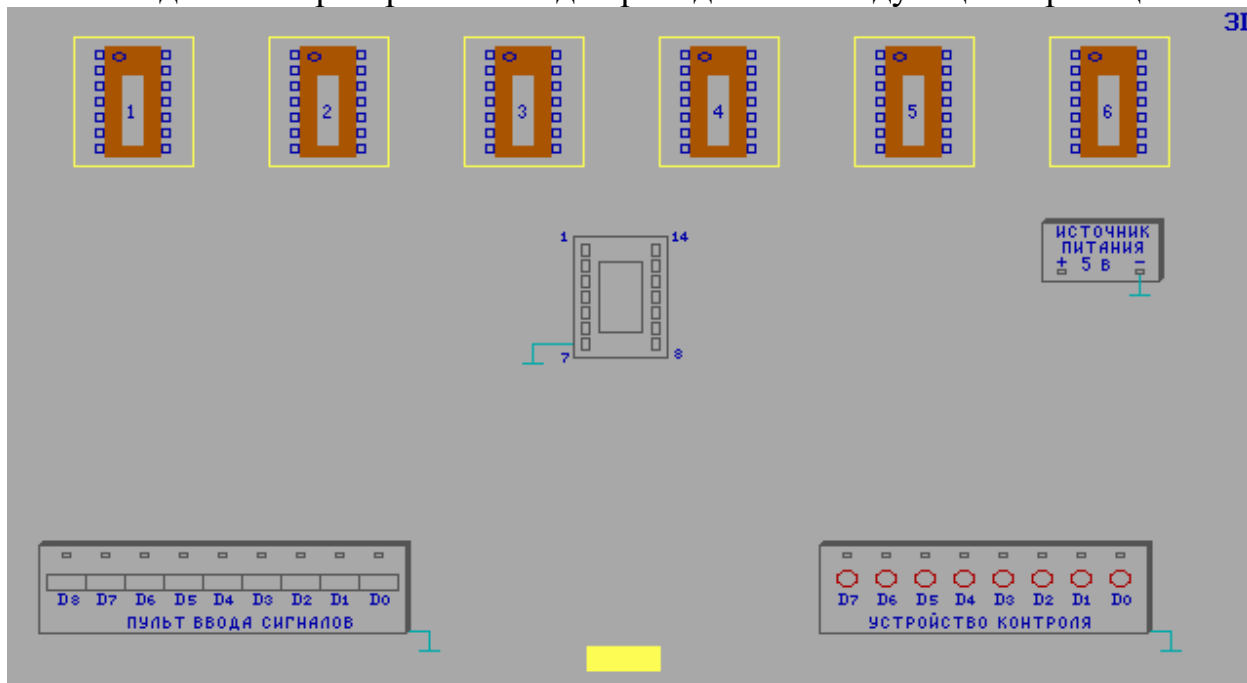
F вызывает открытие соответствующего транзистора VT1-VT3, при этом потенциал коллектора и подключенный к этому коллектору вход логического элемента становится практически равным нулю. Появление логических единиц на выходах логических элементов характеризуется окрашиванием выходов D3, D2, D1, D0 в красный цвет.

### 3. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.

Модель лабораторного стенда содержит:

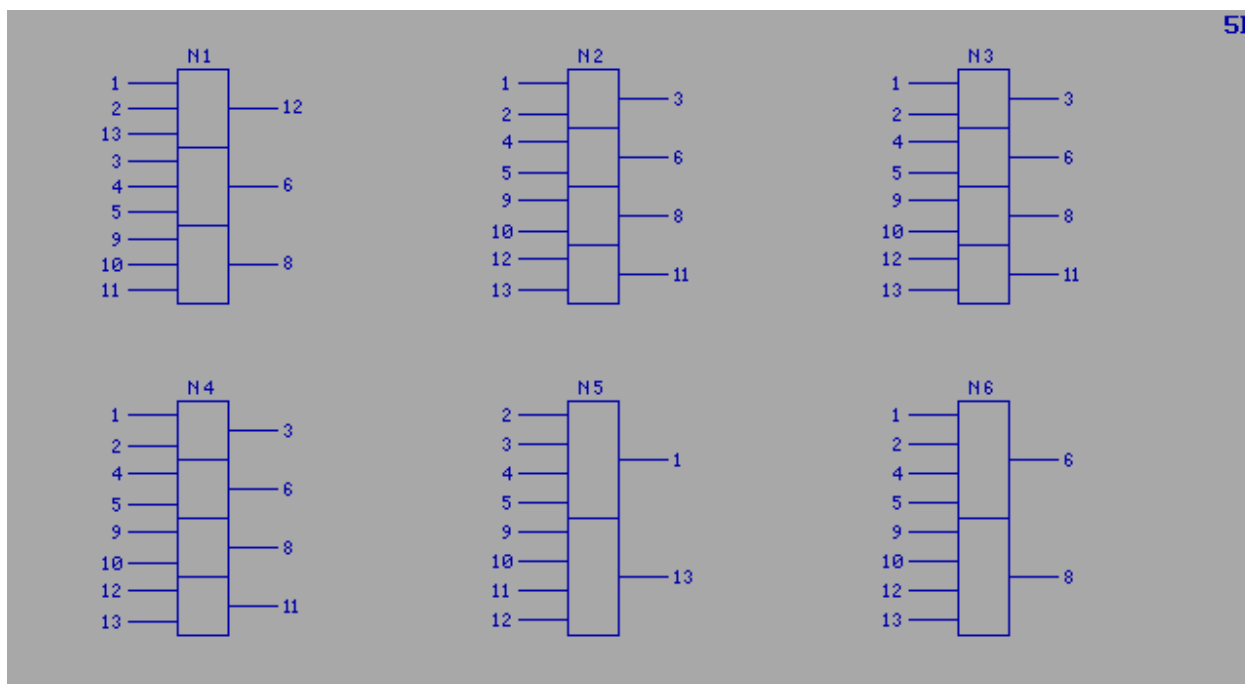
- исследуемые микросхемы;
- гнездо для установки исследуемой микросхемы;
- пульт ввода сигналов;
- устройство контроля;
- источник питания 5 В.

Схема модели лабораторного стенда приведена на следующей странице.



#### Исследуемые микросхемы

В верхней части экрана расположены шесть исследуемых микросхем. Микросхемы содержат логические элементы И, ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, <<исключающее ИЛИ>>. Для проведения исследований требуемая микросхема вставляется в гнездо. Чтобы вставить микросхему в гнездо или вынуть из него надо нажать клавишу, соответствующую номеру микросхемы. Результатом выполнения лабораторной работы должно быть определение типа логического элемента исследуемых микросхем. На следующей странице приведены условные изображения микросхем без указания типов логических элементов.



### **Пульт ввода сигналов**

На пульте ввода сигналов расположены 9 кнопок, обозначенных D8...D0 и зажимы для подключения внешних устройств. Любая из кнопок может находиться в состоянии <выключено> или <включено>. Включенному состоянию соответствует закрашенный прямоугольник кнопки. Включение и выключение кнопки осуществляется нажатием на соответствующую клавишу 8...0. В положении <выключено> напряжение между соответствующим зажимом и корпусом пульта равно нулю (значение сигнала 0). Когда какая-либо кнопка включена, напряжение между соответствующим зажимом и корпусом пульта равно +5 В (значение сигнала 1). Включенному состоянию кнопки соответствует сигнал логической единицы, а выключенному - сигнал логического нуля.

### **Устройство контроля**

Устройство контроля содержит восемь светодиодов D7....D0. Свечение светодиода свидетельствует о том, что напряжение на выходе логического элемента имеет высокий уровень +5 В, т.е. сигнал на выходе элемента равен логической единице. Отсутствие свечения говорит о том, что сигнал равен логическому нулю.

### **Возможны два режима:**

- ИСХ.П. (исходное положение);
- РАБОТА

Индикация установленного режима сопровождается надписью внизу экрана. Для перехода из режима < ИСХОДНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ > в режим < РАБОТА > и обратно следует нажимать клавишу ↓.

### **Режим ИСХ.П.**

Этот режим служит для установки нужной микросхемы в гнездо. Установить микросхему можно только в свободное гнездо. Установка микросхем в гнездо и возврат на место осуществляют, нажимая на клавиши 1 - 6. При помещении исследуемой микросхемы в гнездо пульт ввода сигналов подключается к входам логических элементов, а устройство контроля - к выходам.



### Режим < РАБОТА >

При включении режима < РАБОТА > на исследуемую микросхему подается напряжение от источника питания. В этом режиме, нажимая на клавиши 0 - 8, можно подавать на входы логических элементов логические сигналы 1 и 0.

## 4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

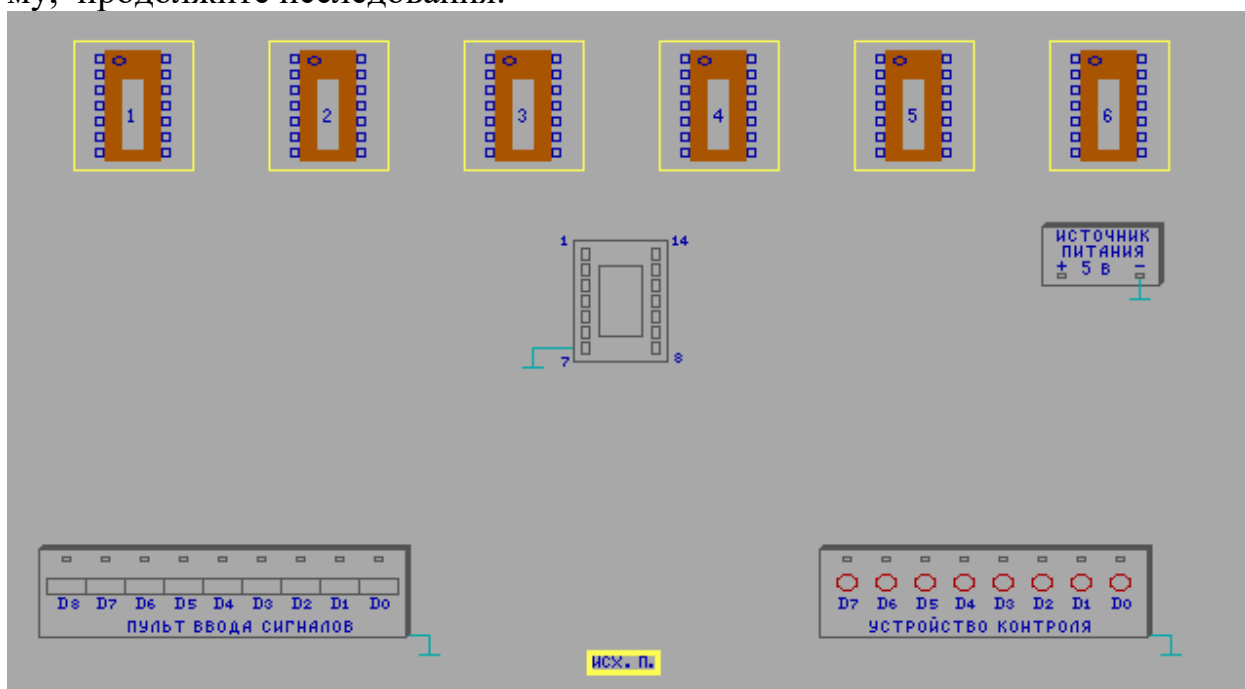
1. Снимите таблицы истинности всех логических элементов.
2. По полученным экспериментальным данным определите тип логических элементов.
3. Нарисуйте условные изображения исследованных микросхем.

## 5. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

При подготовке к выполнению лабораторной работы необходимо проработать теоретический материал по теме ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ. Нарисуйте условные изображения исследуемых микросхем с указанием выводов логических элементов.

## 6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

В режиме <исходное положение>, установите исследуемую микросхему в гнездо. Перейдите в режим <работа>. Подавая на входы логических элементов сигналы 1 и 0, составьте таблицу истинности. По таблице определите тип логических элементов исследуемой микросхемы. Вернитесь в режим <исходное положение>, освободите гнездо, а затем, установив в него другую микросхему, продолжите исследования.



## 7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:

- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

## Лабораторная работа №6. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИГГЕРОВ RS, D, JK.

### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ:

Углубить и закрепить знания по разделу Триггеры

### 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

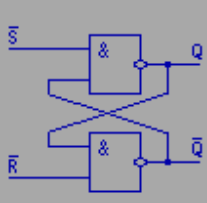
Триггером называют устройство, обладающее двумя состояниями устойчивого равновесия и способное скачком переходить из одного состояния в другое под воздействием внешнего управляющего сигнала. Для перехода триггера из одного устойчивого состояния в другое необходимо, чтобы входной сигнал превысил некоторое значение. Одно из основных применений триггеров – запоминание информации. Под памятью триггера подразумевают способность оставаться в заданном состоянии и после прекращения действия переключающего сигнала. Приняв одно из состояний за 1, а другое за 0, можно считать, что триггер хранит (помнит) один разряд числа, записанного в двоичном коде.

Типы триггеров:

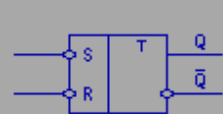
- асинхронный RS-триггер;
- D-триггер;
- JK-триггер.

**- Асинхронный RS-триггер.** Асинхронный RS-триггер выполняется на логических элементах ИЛИ-НЕ или И-НЕ. Триггер называется асинхронным потому, что он срабатывает сразу же при изменении сигналов на входах. Схемы и условные обозначения асинхронных RS-триггеров на логических элементах приведены на следующей странице.

4



СХЕМА



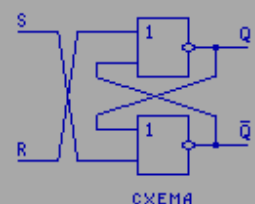
УСЛОВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

ТАБЛИЦА СОСТОЯНИЙ

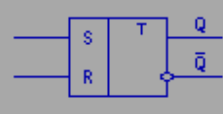
ВХОД		ВЫХОД		ПРИМЕЧАНИЕ
R	S	Q	$\bar{Q}$	
0	0	x	x	ЗАПРЕЩЁННОЕ СОСТОЯНИЕ
1	0	1	0	
0	1	0	1	
1	1	–	–	ПРЕДЫДУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ

РИС. 1.

---



СХЕМА



УСЛОВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

ТАБЛИЦА СОСТОЯНИЙ

ВХОД		ВЫХОД		ПРИМЕЧАНИЕ
R	S	Q	$\bar{Q}$	
0	0	–	–	ПРЕДЫДУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ
1	0	0	1	
0	1	1	0	
1	1	x	x	ЗАПРЕЩЁННОЕ СОСТОЯНИЕ

РИС. 2.

RS-триггер имеет два выхода: прямой и инверсный. Прямой выход обозначается буквой Q, а инверсный  $\bar{Q}$ . Если на одном из выходов 1, то на дру-

гом 0, и наоборот. RS-триггер имеет два входа, называемых информационными: S и R. Вход S (set-установка) - это вход установки прямого выхода Q триггера в состояние логической единицы. Появление импульса на входе S переводит триггер в состояние  $Q = 1$ . Это называется установкой триггера в 1. Вход R (reset-сброс) - это вход установки прямого выхода Q триггера в состояние логического нуля. Появление импульса на входе R переводит триггер в состояние  $Q = 0$ . Это называется установкой триггера в 0 или сбросом. Входы S и R могут быть прямыми или инверсными. В зависимости от этого установка триггера в 1 и сброс будет происходить при подаче на входы S и R либо сигналов 1, либо сигналов 0. В RS-триггере на элементах И-НЕ (рис.1) входы являются инверсными. При условном изображении триггера инверсный вход изображается кружочком. Для изменения состояния триггера на входы надо подавать напряжение низкого уровня (сигналы логического нуля). Хранение информации имеет место в том случае, когда на входах R и S сигналы логических единиц. В RS-триггере на элементах ИЛИ-НЕ (рис.2) входы являются прямыми. Для изменения состояния триггера на входы надо подавать напряжение высокого уровня (сигналы логической единицы). Хранение информации имеет место в том случае, когда на входах R и S сигналы логических нулей. RS-триггеры имеют запрещенную комбинацию сигналов. При запрещенной комбинации сигналов на входах состояние триггера является неопределенным. Для перевода RS-триггера из одного состояния в другое достаточно подать на соответствующий информационный вход кратковременный импульс. Асинхронные RS-триггеры часто используются в качестве формирователей импульсов с управлением от кнопок и контактов реле. Известно, что замыкание механических контактов сопровождается ихдребезгом, т.е. многократным переходом в течение короткого времени из замкнутого состояния в разомкнутое. Для исключения этого неприятного явления контакты переключателей подключают ко входам RS - триггера. Переключение триггера происходит в момент первого замыкания контактов. Последующий ихдребезг на состоянии триггера не сказывается. На рис.3 приведена противодребезговая схема, и далее Вы можете наблюдать за тем, как она работает. Переключатель SA управляется клавишами 1 и 2. Состояние прямого выхода триггера контролируется светодиодом VD0. Состояние контактов трехпозиционного переключателя SA контролируются светодиодами VD1 и VD2. Когда переключатель находится в нейтральном положении, на входах R и S триггера напряжение высокого уровня (логические единицы), светодиоды VD1 и VD2 светятся. При замыкании контактов, соответствующий светодиод гаснет.

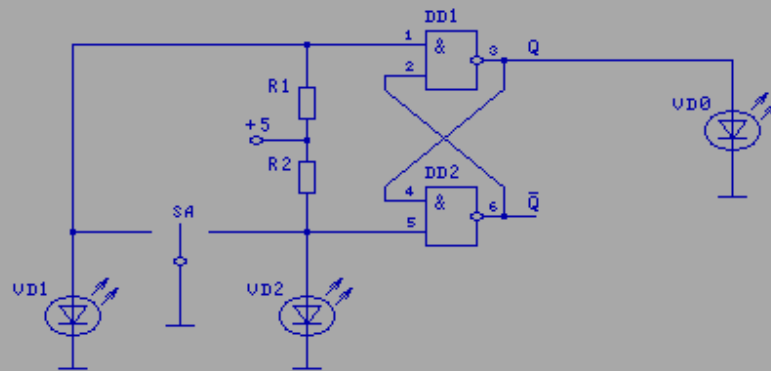
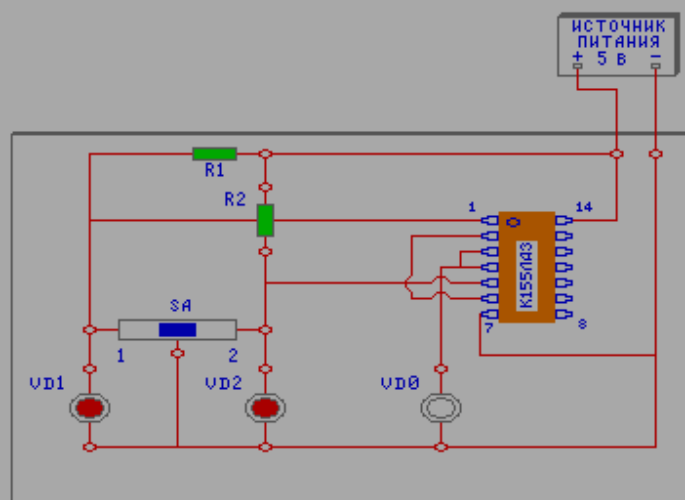


Рис. 3.



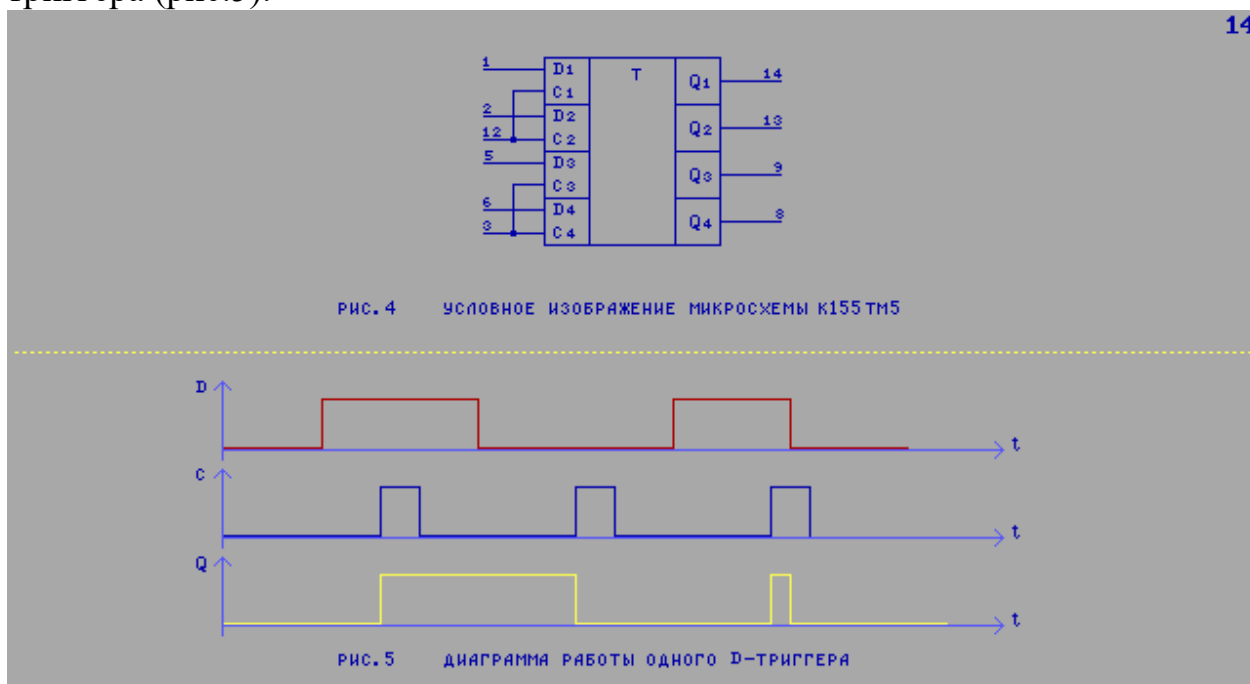
### - D – триггер

D - триггер имеет один информационный вход D и один вход синхронизации C. На вход синхронизации подаются импульсы от генератора тактовых сигналов. Некоторые D - триггеры могут иметь дополнительный вход S установки триггера в 1 и вход сброса R. Функциональная особенность триггеров этого типа состоит в том, что сигнал на выходе Q в такте  $n+1$  повторяет входной сигнал на информационном входе в предыдущем такте  $n$  и сохраняет (запоминает) это состояние до следующего тактового импульса. D-триггеры подразделяются на триггеры со статическим и динамическим управлением.

### D-триггеры со статическим управлением

В таких триггерах сигнал (1 или 0) с информационного входа D передается на выход Q в течение всего времени, пока ко входу синхронизации приложен тактовый импульс. Триггер запоминает сигнал, существовавший на ин-

формационном входе, перед снятием тактового импульса. На следующей странице приведено условное изображение микросхемы K155TM5, содержащей 4 D-триггера со статическим управлением (рис.4) и диаграмма работы одного D-триггера (рис.5).



Микросхема имеет два тактовых входа C1 и C2. Триггеры работают самостоятельно, однако тактирование осуществляется попарно. Состояние триггера меняется в соответствии с состоянием информационного входа, когда вход синхронизации находится в состоянии логической 1. При переходе тактового импульса в состояние логического нуля триггер запоминает записанную в нем информацию и состояние его остается неизменным независимо от состояния информационного входа.

### **D-триггеры с динамическим управлением**

В триггерах с динамическим управлением, в зависимости от исполнения, сигнал, имеющийся на входе D, передается на выход Q в момент переключения сигнала синхронизации из нуля в единицу или из единицы в нуль. Если информация запоминается в момент переключения синхросигнала из нуля в единицу, то триггер управляется фронтом синхросигнала. Если информация запоминается в момент переключения синхросигнала из единицы в нуль, то триггер управляется срезом синхросигнала. На следующей странице приведено условное изображение микросхемы K155TM8, содержащей 4 D-триггера с динамическим управлением (рис.6) и диаграмма работы одного D-триггера (рис.7).

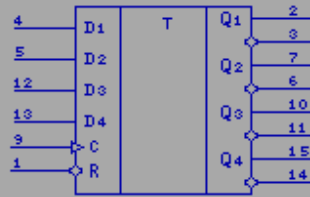


РИС. 6 УСЛОВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ МИКРОСХЕМЫ K155TM8

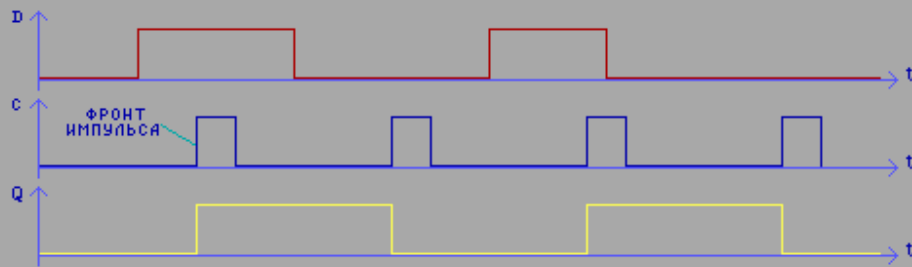


РИС. 7 ДИАГРАММА РАБОТЫ ОДНОГО D-ТРИГГЕРА

В микросхеме K155TM8 вход синхронизации C общий для всех триггеров. Для сброса триггеров имеется асинхронный вход R. Установка триггеров в нулевое состояние осуществляется подачей на вход R напряжения, соответствующего уровню логического нуля. Информация, поступающая на информационный вход триггера, передается на соответствующий выход Q в момент перехода тактирующего импульса C из нуля в состояние логической единицы. На входе R должен быть уровень логической единицы.

D - триггеры используют в качестве запоминающих элементов, а также в качестве делителей частоты.

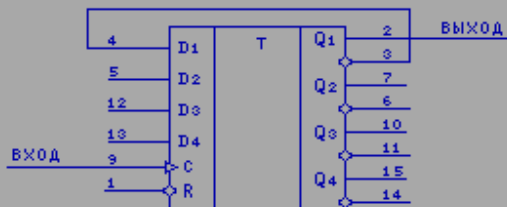
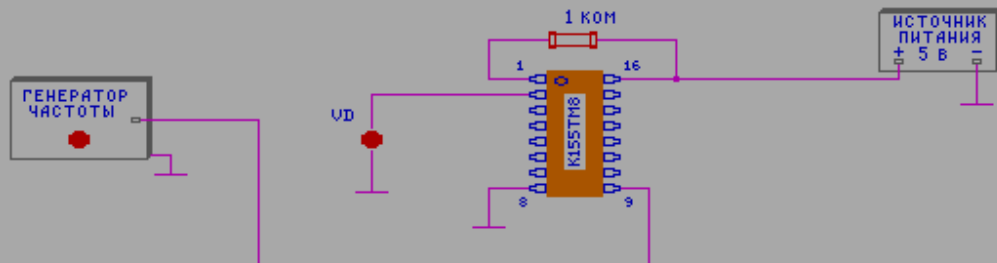


РИС. 8 СХЕМА ДЕЛИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ



На предыдущей странице Вы могли наблюдать, как с помощью D-триггера микросхемы K155TM8 можно уменьшить частоту импульсов. Частота мигания светодиода VD, подключенного к выходу Q триггера в два раза ниже частоты импульсов, вырабатываемых генератором частоты. Для того, чтобы

триггер выполнял функцию делителя частоты на 2, инверсный выход соединяется со входом (рис.8). Каждый импульс, поступающий на вход синхронизации вызывает изменение состояния триггера, поскольку сигнал на входе D всегда противоположен сигналу на выходе Q.

### - JK – триггер

JK - триггер является универсальным. Этот тип триггера не имеет неопределенных состояний. JK - триггер имеет:

- информационный вход J;
- информационный вход K;
- вход синхронизации C;
- вход установки в 1 S;
- вход сброса R;
- прямой и инверсный выходы.

Особенность JK-триггера состоит в том, что при всех входных комбинациях, кроме одной  $J = K = 1$  он действует подобно RS-триггеру, причем вход J играет роль входа S, а вход K играет роль входа R. При входной комбинации  $J = K = 1$  в каждом такте происходит опрокидывание триггера и выходные сигналы меняют свое значение.

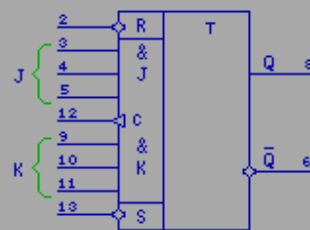


РИС.9 УСЛОВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ МИКРОСХЕМЫ K155ТВ1

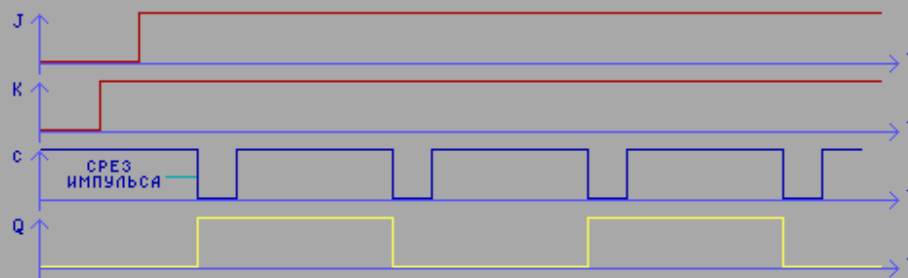


РИС.10 ДИАГРАММА РАБОТЫ JK – ТРИГГЕРА

Микросхема K155ТВ1 представляет собой JK - триггер. Триггер имеет по три входа J и K, связанных операций И. Триггер может работать в трех режимах:

1. На входы J и K подаются сигналы высокого уровня (логические 1). На вход C поступают тактовые импульсы. В каждом такте происходит опрокидывание триггера и выходные сигналы меняют свое значение. JK - триггер работает в режиме делителя частоты на 2 (рис.10).
2. На входы J и K поступает меняющийся сигнал. Триггер работает в режиме синхронной записи информации со входов J и K, причем вход J действует подобно входу S, а вход K - подобно входу R.



3. Асинхронный режим. При подаче информации на входы R и S триггер работает аналогично RS - триггеру.

#### - Несимметричный триггер

Несимметричный триггер также обладает двумя устойчивыми состояниями, смена которых происходит скачкообразно под действием входных сигналов. У данного триггера при отсутствии входного сигнала выходной сигнал однозначно определен. Такие триггеры не обладают памятью и используются не для обработки и хранения информации, а в качестве пороговых элементов и формирователей прямоугольных импульсов из сигналов произвольной формы. Несимметричные триггеры часто называют триггерами Шмитта. Несимметричные триггеры выпускаются как готовые изделия, например, микросхема К155ТЛ1 содержит 2 триггера.

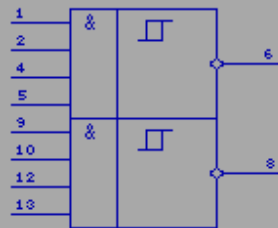


РИС. 11 УСЛОВНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ МИКРОСХЕМЫ К155ТЛ1

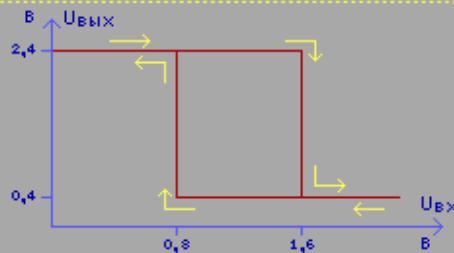


РИС. 12 ПЕРЕДАТОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРИГГЕРА

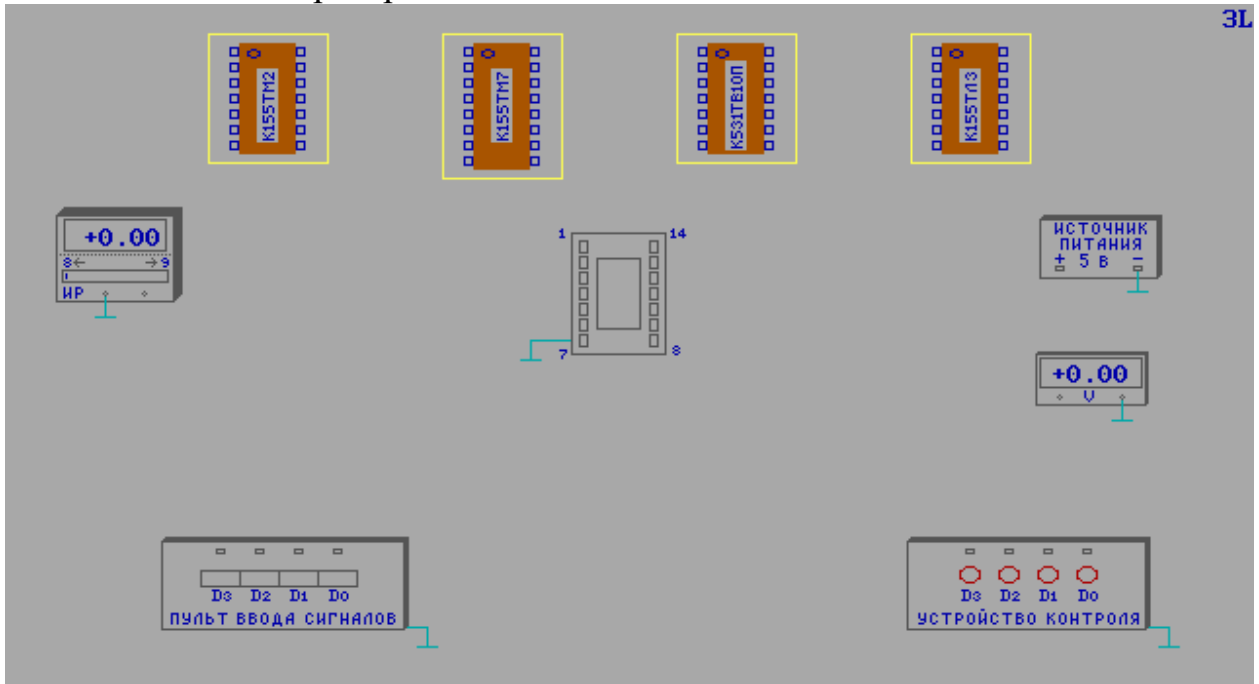
Логическая функция, выполняемая каждым триггером, - 4И-НЕ. В отличие от обычного инвертора триггер Шмитта имеет разные уровни срабатывания при включении и выключении. Разница напряжений при включении и выключении (гистерезис) составляет не менее 0,4 В. Если выполнения логических операций не требуется, все четыре входа триггера соединяются между собой.

### 3. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.

Модель лабораторного стенда содержит:

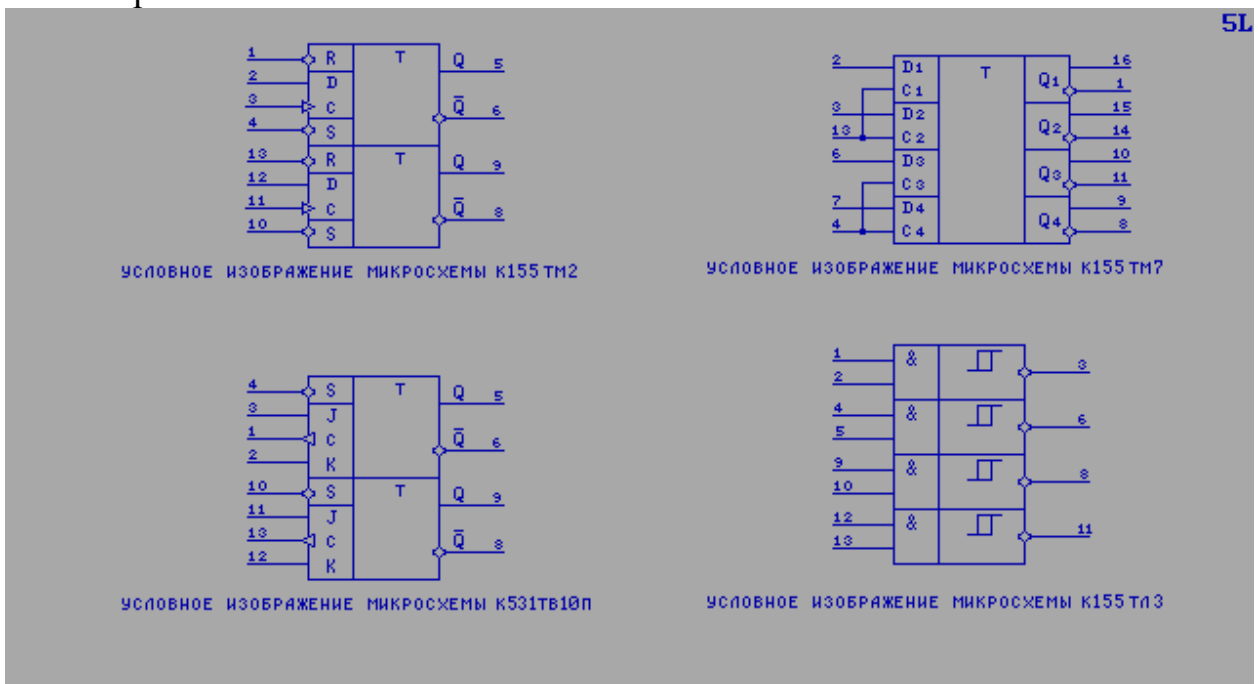
- исследуемые микросхемы;
- гнездо для установки исследуемой микросхемы;
- пульт ввода сигналов;
- устройство контроля;
- источник питания 5 В;
- источник регулируемого напряжения ИР;
- вольтметр V.

Схема модели лабораторного стенда.



### Исследуемые микросхемы

В верхней части экрана расположены четыре исследуемые микросхемы, содержащие триггеры. При проведении исследований требуемая микросхема вставляется в гнездо. На следующей странице приведены условные изображения микросхем.



### Пульт ввода сигналов

На пульте ввода сигналов расположены 4 кнопки, обозначенные D3...D0 и зажимы для подключения внешних устройств. Любая из кнопок может находиться в состоянии <выключено> или <включено>. Включенному состоянию соответствует закрашенный прямоугольник кнопки. Включение и выключение кнопки осуществляется нажатием на соответствующую клавишу 3...0. В положении <выключено> напряжение между соответствующим зажимом и корпу-

сом пульта равно нулю (значение сигнала 0). Когда какая-либо кнопка включена, напряжение между соответствующим зажимом и корпусом пульта равно +5 В (значение сигнала 1). Включенному состоянию кнопки соответствует сигнал логической единицы, а выключенному - сигнал логического нуля.

### ***Устройство контроля***

Устройство контроля содержит четыре светодиода D3....D0. Свечение светодиода свидетельствует о том, что напряжение на выходе логического элемента имеет высокий уровень +5 В, т.е. сигнал на выходе элемента равен логической единице. Отсутствие свечения говорит о том, что сигнал равен логическому нулю. Источник регулируемого напряжения ИР применяется при исследовании несимметричного триггера и обеспечивает изменение величины напряжения от 0 до 5 В. Величина напряжения изменяется нажатием клавиш 8 и 9. Номера клавиш клавиатуры указаны на рисунке источника ИР.

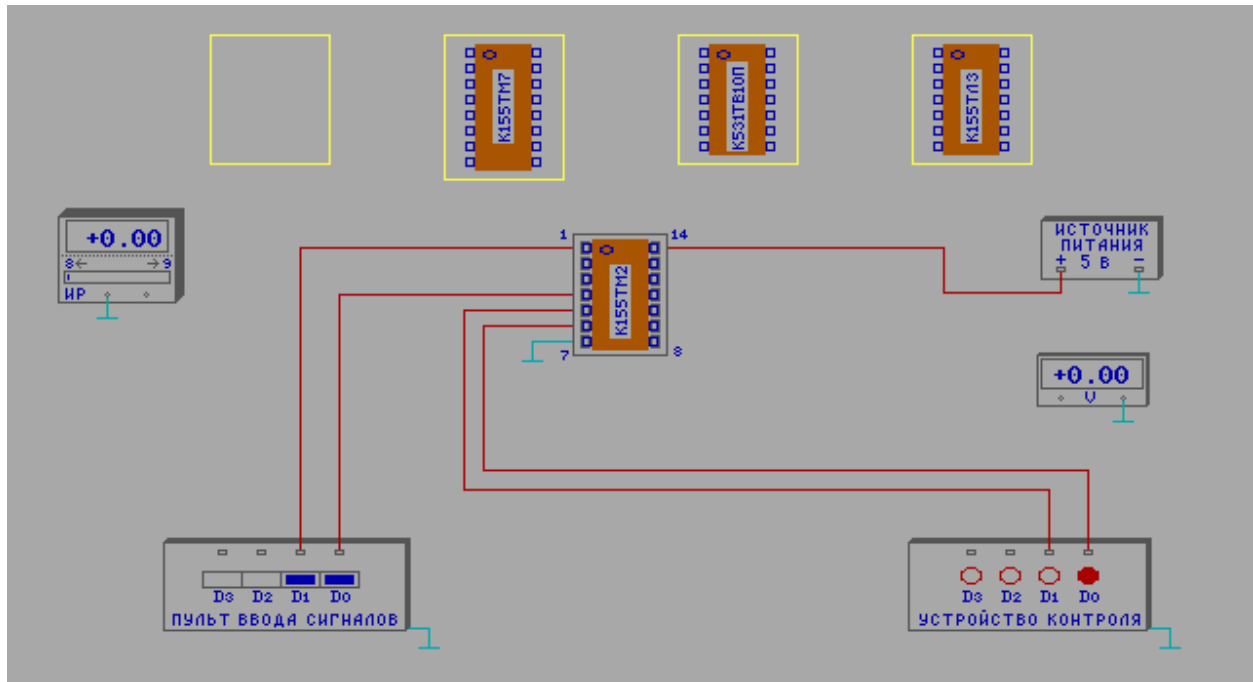
## **4. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ**

1. Подавая на входы триггеров RS, D и JK пробные сигналы, составьте таблицы состояний триггеров.
2. Изменяя напряжение на входе несимметричного триггера, снимите его передаточную характеристику.
3. Нарисуйте условные изображения исследованных микросхем.

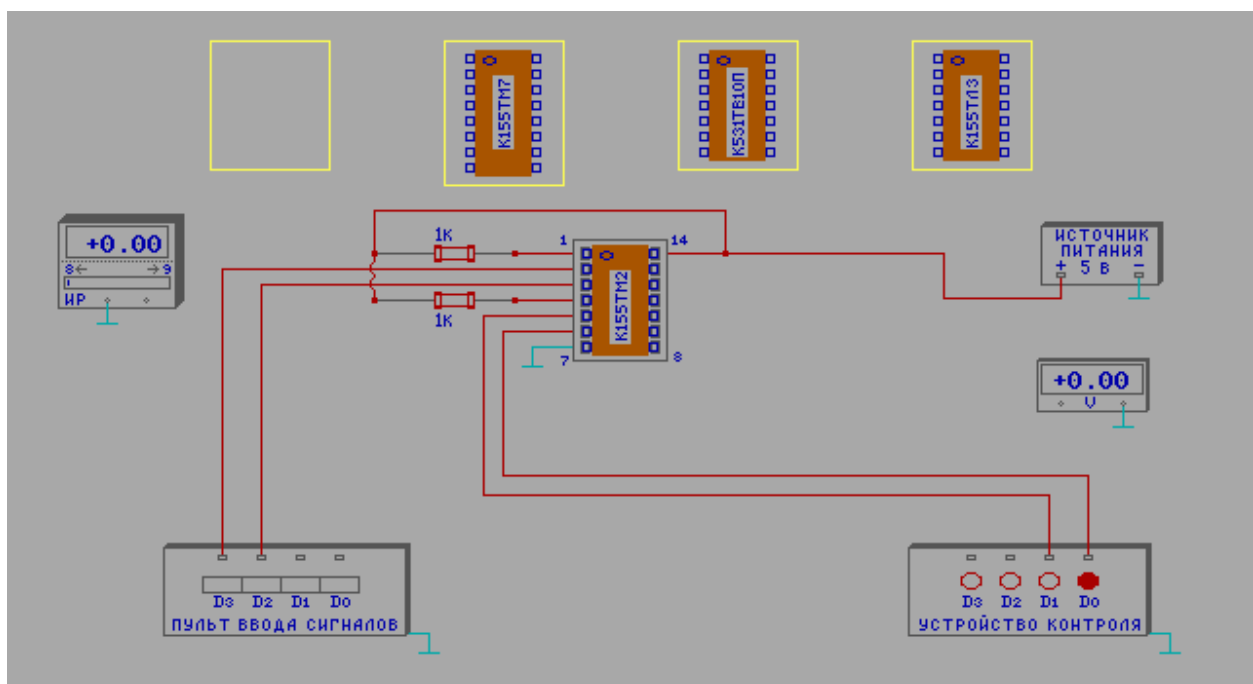
## **5. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.**

При подготовке к выполнению лабораторной работы необходимо проработать теоретический материал по теме ТРИГГЕРЫ. Нарисуйте условные изображения исследуемых микросхем с указанием выводов.

## Исследование RS-триггера

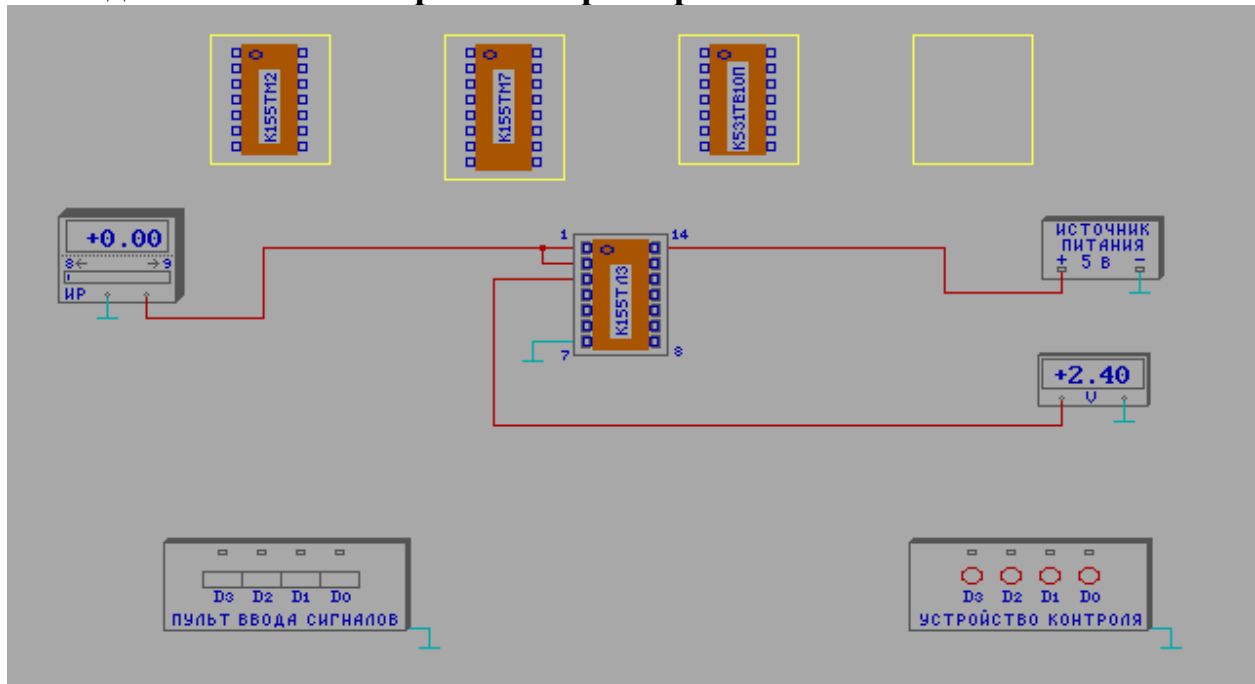


## Исследование D-триггера





## Исследование несимметричного триггера



## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:

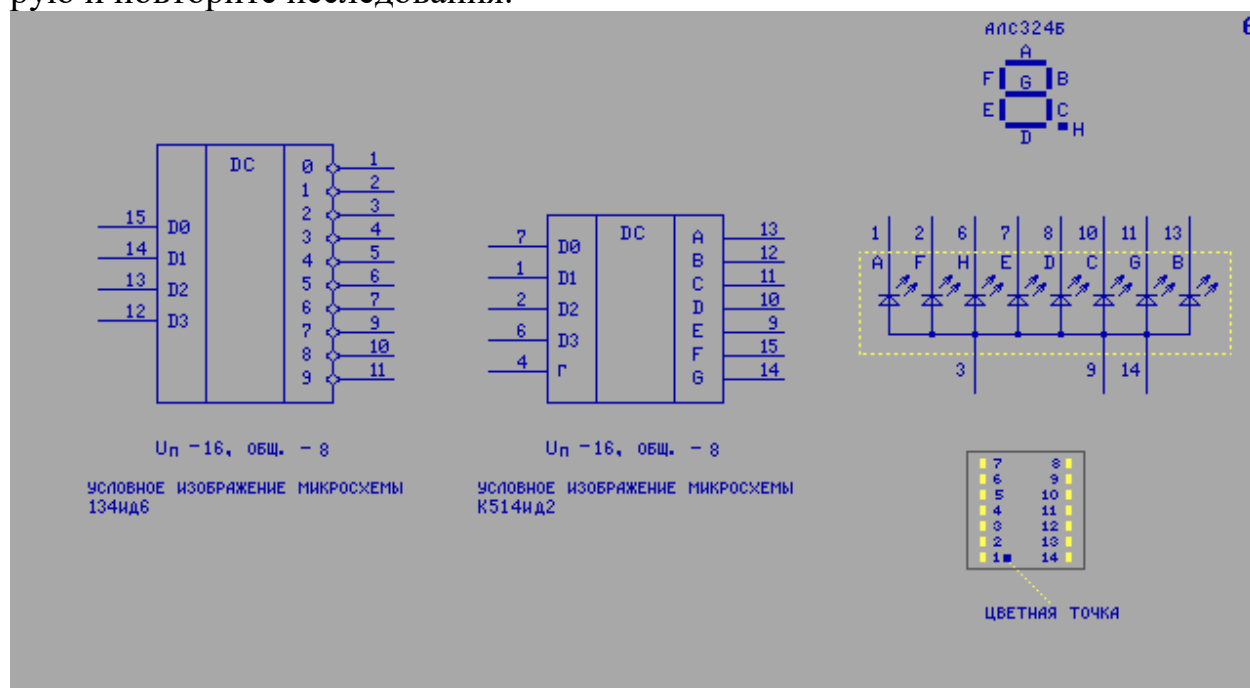
- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

## 7. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

При подготовке к выполнению лабораторной работы необходимо проработать теоретический материал по теме КОМБИНАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ( ДЕШИФРАТОРЫ ). Нарисуйте условные изображения исследуемых микросхем. Условные изображения приведены на следующей странице.

## 8. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

В режиме <исходное положение>, подключите исследуемую микросхему к пульту ввода сигналов и устройству контроля. Перейдите в режим <работа>. Подавая на входы сигналы 1 и 0, составьте таблицу истинности. Вернитесь в режим <исходное положение>, отключите первую микросхему, включите вторую и повторите исследования.



## 9. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:

- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

## Лабораторная работа № 8. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК.

### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ.

Приобретение навыков расчета электрических нагрузок различных объектов.

### 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

**Расчет электрических нагрузок одиночных электроприемников.** Номинальной мощностью одиночного электроприемника называется мощность, обозначенная на заводской табличке, в паспорте, на колбе или цоколе источника света.

Под номинальной активной мощностью электродвигателя  $P_{\text{ном}}$  понимается механическая мощность на его валу при номинальном напряжении и номинальных условиях охлаждения. Применительно к многодвигательным приводам, исключая крановые установки, под термином «приемник электроэнергии» следует понимать весь агрегат в целом, а под его номинальной мощностью – сумму номинальных мощностей всех его электродвигателей. Для всех остальных приемников под номинальной понимается активная мощность, потребляемая из сети при номинальном напряжении. При расчетах нагрузок за установленную номинальную мощность отдельного приемника повторно-кратковременного режима работы принимается его мощность, приведенная к длительному режиму работы (ПВ=100%).

Под номинальной реактивной мощностью  $Q_{\text{ном}}$  отдельного электроприемника понимается реактивная мощность, потребляемая из сети или отдаваемая в сеть при номинальной активной мощности  $P_{\text{ном}}$  и при номинальном напряжении  $U_{\text{ном}}$ . Реактивная мощность приемников повторно-кратковременного режима также приводится к ПВ=100%.

Исходными данными для расчета электрических параметров режима одиночного электроприемника являются:

- номинальное напряжение  $U_{\text{ном}}$ ;
- номинальная мощность  $P_{\text{ном}}$  (для конденсаторных установок – номинальная реактивная мощность  $Q_{\text{ном}}$ );
- номинальный коэффициент мощности  $\cos\varphi$ ;
- номинальный КПД  $\eta_{\text{ном}}$ ;
- продолжительность включения ПВ.

Расчетная полная мощность  $S_p$  электроприемника определяется по формуле:

$$S_p = \frac{P_{\text{ном}}}{\cos\varphi \cdot \eta_{\text{ном}}};$$

– для электродвигателей:



– для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы:

$$S_p = \frac{P_{ном} \sqrt{ПВ}}{\eta_{ном} \cos \varphi};$$

– для силовых трансформаторов:  $S_p = Q_{ном}$ ;

– для сварочных аппаратов:  $S_p = S_{ном} \sqrt{ПВ}$ ;

– для конденсаторных установок:  $S_p = Q_{ном}$ .

Расчетная активная мощность  $P_p$  определяется по формуле:

$$P_p = \frac{P_{ном}}{\eta_{ном}};$$

– для электродвигателей:

– для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы:

$$P_p = \frac{P_{ном} \sqrt{ПВ}}{\eta_{ном}};$$

– для любого электроприемника:  $P_p = S_p \cos \varphi$ .

Расчетная реактивная мощность  $Q_p$  определяется по формуле:  $Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi$ , где  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности, соответствующий  $\cos \varphi$ .

Расчетный ток  $I_p$  определяется по формуле:

– для трехфазных электроприемников:  $I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$

– для одно- и двухфазных электроприемников:  $I_p = \frac{S_p}{U_{ном}}.$

**Расчет электрических нагрузок методом коэффициента спроса.** Для определения расчетных нагрузок по методу коэффициента спроса необходимо знать установленную мощность  $P_{ном}$  группы приемников и коэффициенты мощности  $\cos \varphi$  и спроса  $k_C$  данной группы, определяемые по справочным материалам.

Расчетную активную  $P_p$ , реактивную  $Q_p$  и полную  $S_p$  нагрузки группы однородных по режиму работы приемников определяют по формулам:

$$P_p = k_C \cdot P_{ном};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi;$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2},$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  соответствует  $\cos \varphi$  данной группы электроприемников.

Результаты расчетов целесообразно оформлять в виде табл. 1

Таблица 1. Результаты расчета электрических нагрузок

Наименование электропотребителя	Установленная (номинальная) Мощность $P_{ном}$ , кВт	Кол-во	$k_C$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВар	$S_p$ , кВ·А

Электропотребители								
Итого								

Определение расчетной силовой нагрузки по установленной мощности и коэффициенту спроса является приближенным методом расчета, поэтому его применение рекомендуют для предварительных расчетов и определения обще-заводских нагрузок.

**Расчет нагрузок потребителей электроэнергии до 1 кВ.** Для индивидуальных электропотребителей за расчетную нагрузку принимается их номинальная мощность  $P_{ном}$ . Для потребителей повторно-кратковременного режима работы (сварочные агрегаты, краны и т.п.) в качестве расчетной нагрузки принимается паспортная мощность  $P_{пасп}$ , приведенная к ПВ=100%:

$$P_{ном} = P_{пасп} \sqrt{ПВ},$$

где ПВ – продолжительность включения, принимаемая в долях единицы.

Активная расчетная нагрузка группы потребителей, подключенных к узлу питания напряжением до 1 кВ, определяется:

$$P_{P, \text{сум}} = K_P \sum_{i=1}^n K_{и, a, i} P_{н, i},$$

или:

$$P_{P, \text{сум}} = K_P P_{см},$$

где

$$P_{см, i} = K_{и, a, i} P_{ном, i},$$

$$P_{см} = \sum_{i=1}^n K_{и, a, i} P_{ном, i},$$

где  $P_{см, i}$  и  $P_{см}$  – средние за смену нагрузки -  $i$ -го потребителя и групповая, кВт;  $K_P$  – коэффициент расчётной нагрузки, определяемый по таблицам;  $K_{и, a, i}$  – коэффициент использования активной мощности для  $i$ -го потребителя, справочная величина;  $P_{н, i}$  – номинальная мощность  $i$ -го потребителя, кВт;

Расчётная реактивная нагрузка на шинах РП, питающих отдельные участки производства  $Q_P$  определяется в зависимости от эффективного числа приёмников  $n_{эф}$ :

при  $n_{эф} \leq 10$

$$Q_{P, \text{сум}} = 1,1 \sum_{i=1}^n K_{и, a, i} P_{н, i} \operatorname{tg} \varphi_i;$$

при  $n_{эф} > 10$

$$Q_{P, \text{сум}} = \sum_{i=1}^n K_{и, a, i} P_{н, i} \operatorname{tg} \varphi_i,$$

где

$$Q_{см, i} = K_{и, a, i} P_{н, i} \operatorname{tg} \varphi_i,$$

$$Q_{CM} = \sum K_{u,i} P_{ni} \operatorname{tg} \varphi_i,$$

где  $Q_{CM,i}$  и  $Q_{CM}$  – средние за смену реактивные нагрузки -  $i$ -го потребителя и групповая;  $\operatorname{tg} \varphi_i$  – соответствует  $\cos \varphi_i$ , принятому для данного потребителя из справочных материалов.

Расчётная реактивная нагрузка на шинах ТП определяется по вы-

ражению:  $Q_{P,сум} = K_P P_{CM} \operatorname{tg} \varphi$

Эффективное число приёмников может определяться по упрощенному выражению:

$$n_{\operatorname{эф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{ni}}{P_{n, \max}},$$

где  $P_{n, \max}$  - номинальная мощность наиболее мощного приёмника группы.

Групповой коэффициент использования в целом по объекту определяется по формуле:

$$K_{u,z} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{u,i} P_{ni}}{\sum_{i=1}^n P_{ni}}.$$

Полная расчетная мощность по объекту в целом, кВт·А:

$$S_{P,сум} = \sqrt{P_{P,сум}^2 + Q_{P,сум}^2}.$$

Полный расчетный ток, А:

$$I_{P,сум} = \frac{S_{P,сум}}{\sqrt{3} U_{ном}},$$

где  $U_{ном}$  - напряжение сети, кВ.

**Расчетная нагрузка от электроприемников квартир.** Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ-0,4 кВ ТП от электроприемников квартир ( $P_{кв}$ ) определяется по формуле, кВт,

$$P_{кв} = P_{кв,уд} n,$$

где  $P_{кв,уд}$  - удельная нагрузка электроприемников квартир, принимаемая по табл. 2 в зависимости от числа квартир, присоединенных к линии (ТП), типа кухонных плит, кВт/квартиру с обязательным учетом примечаний к данной таблице. Удельные электрические нагрузки установлены с учетом того, что общая неравномерность нагрузки при распределении ее по фазам трехфазных линий и вводов не превышает 15 %;  $n$  - количество квартир, присоединенных к линии (ТП).

Таблица 2 Удельная расчетная нагрузка электроприемников жилых квартир

	Удельная расчетная электрическая нагрузка при количестве
--	--

ID	Потребители электроэнергии	квартир, кВт/квартиру														
		1	5	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
1	Квартиры с плитами на природном газе	4.5	4.5	2.8	2.3	2	1.8	1.65	1.4	1.2	1.05	0.85	0.77	0.71	0.69	0.67
2	Квартиры с плитами на сжиженном газе (в том числе при групповых установках и на твердом топливе)	6	6	3.4	2.9	2.5	2.2	2	1.8	1.4	1.3	1.08	1	0.92	0.84	0.76
3	Квартиры с электрическими плитами, мощностью 8,5 кВт	10	10	5.1	3.8	3.2	2.8	2.6	2.2	1.95	1.7	1.5	1.36	1.27	1.23	1.19
4	Летние домики на участках садовых товариществ	4	4	2.3	1.7	1.4	1.2	1.1	0.9	0.76	0.69	0.61	0.58	0.54	0.51	0.46

#### Примечания

1 Удельные расчетные нагрузки для числа квартир, не указанного в таблице, определяются путем интерполяции.

2 Удельные расчетные нагрузки квартир учитывают нагрузку освещения общедомовых помещений (лестничных клеток, подполий, технических этажей, чердаков и т.д.), а также нагрузку слаботочных устройств и мелкого силового оборудования (щитки противопожарных устройств, автоматики, учета тепла и т.п., зачистные устройства мусоропроводов, подъемники для инвалидов).

3 Удельные расчетные нагрузки приведены для квартир средней общей площадью 70 м<sup>2</sup> (квартиры от 35 до 90 м<sup>2</sup>) в зданиях по типовым проектам.

4 Расчетную нагрузку для квартир с повышенной комфортностью следует определять в соответствии с заданием на проектирование или в соответствии с заявленной мощностью и коэффициентами спроса и одновременности (таблицы 2 и 3).

5 Удельные расчетные нагрузки не учитывают покомнатное расселение семей в квартире.

6 Удельные расчетные нагрузки не учитывают общедомовую силовую нагрузку, осветительную и силовую нагрузку встроенных (пристроенных) помещений общественного назначения, нагрузку рекламы, а также применение в квартирах электрического отопления, электропроводо-нагревателей и бытовых кондиционеров (кроме элитных квартир).

7 Для определения при необходимости значения утреннего или дневного максимума нагрузок следует применять коэффициенты: 0,7 - для жилых домов с электрическими плитами и 0,5 - для жилых домов с плитами на газообразном и твердом топливе.

8 Электрическую нагрузку жилых зданий в период летнего максимума нагрузок можно определить, умножив значение нагрузки зимнего максимума на коэффициенты: 0,7 - для квартир с плитами на природном газе; 0,6 - для квартир с плитами на сжиженном газе и твердом топливе и 0,8 - для квартир с электрическими плитами.

9 Расчетные данные, приведенные в таблице, могут корректироваться для конкретного применения с учетом местных условий. При наличии документированных и утвержденных в установленном порядке экспериментальных данных расчет нагрузок следует производить по ним.

10 Нагрузка иллюминации мощностью до 10 кВт в расчетной нагрузке на вводе в здание учитываться не должна.

Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ-0,4 кВ ТП от электроприемников квартир повышенной комфортности  $P_{p.кв}$  определяется по формуле, кВт,

$$P_{p.кв} = P_{кв} n K_o,$$

где  $P_{кв}$  - нагрузка электроприемников квартир повышенной комфортности;

$n$  - количество квартир;

$K_o$  - коэффициент одновременности для квартир повышенной комфортности.

Расчетные нагрузки электроприемников коттеджей допустимо определять, как для квартир с повышенной комфортностью в соответствии с заданием на проектирование или по заявленной мощности с учётом коэффициентов спроса по табл. 3, и в обоих случаях применяя коэффициенты одновременности – табл. 4.

Не допускается при определении расчетной нагрузки нескольких домов или нагрузки многосекционного жилого дома на шинах РУ-0,4 кВ ТП суммировать расчетные нагрузки на вводах ВРУ (ВРУ-1, ВРУ-2 и т.д.). Нагрузку следует определять по табл. 2 для каждого элемента сети в зависимости от числа квартир. Например, нагрузка шинах РУ-0,4 кВ ТП от электроприемников квартир многосекционного дома определяется общим количеством квартир, присоединенных к данной ТП.

При совместном подключении типовых квартир и квартир с повышенной комфортностью расчетная нагрузка электроприемников квартир, в частности, на вводе в жилой дом в аварийном режиме определяется расчетом отдельно тех и других нагрузок и с учетом коэффициента одновременности.

Таблица 2 Коэффициент спроса для квартир повышенной комфортности

Заявленная мощность, кВт	Коэффициент спроса
14	0.8
20	0.65
30	0.6
40	0.55
50	0.5
60	0.48
70	0.45

Таблица 3 Коэффициенты одновременности для квартир повышенной комфортности

		K <sub>o</sub> при числе квартир													
ID	Характеристика квартир	1	5	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600 и более
1	С электроплитами	1	1	0.51	0.38	0.32	0.29	0.26	0.24	0.2	0.18	0.16	0.14	0.13	0.11

**Расчет электрических нагрузок промышленных объектов (строительная площадка).** Потребность в электроэнергии на строительной площадке должна определяться в проектах организации строительства по физическим объемам работ и расчетным формулам.

В городском строительстве обеспечение строительных площадок электроэнергией осуществляется, как правило, за счет использования существующих городских систем.

Электроснабжение предназначено для энергетического обеспечения силовых и технологических потребителей, внутреннего и наружного освещения объектов строительства, участков производства строительно-монтажных работ и инвентарных зданий.

Последовательность расчета электроснабжения строительной площадки включает: определение потребителей электроэнергии, выбор источников получения электроэнергии и расчет их мощности, составление рабочей схемы электроснабжения строительной площадки.

Рассмотрим последовательность расчета электроснабжения.

Основными потребителями электроэнергии на строительной площадке являются строительные машины, механизмы и установки строительной площадки или инвентарных зданий.

Суммарная номинальная мощность их электродвигателей составит

$$P_1 = \sum_i P_1^i,$$

где  $P_1^i$  – мощность электродвигателя  $i$ -й машины, механизма, установки, инвентарного здания, кВт.

Технологические процессы (оттаивание грунта, электропрогрев бетона и др.). Потребляемая мощность для технологических процессов  $P_2 = \sum_j P_2^j$ ,

где  $P_2^j$  – потребляемая мощность  $j$ -го технологического процесса, кВт.

Осветительные приборы и устройства для внутреннего освещения, суммарная мощность которых составит  $P_3 = \sum_k P_3^k$ ,

где  $P_3^k$  – мощность  $k$ -го осветительного прибора или установки, кВт.

Осветительные приборы и устройства для наружного освещения объектов и территории, суммарная мощность которых  $P_4 = \sum_l P_4^l$ ,

где  $P_4^l$  – мощность  $l$ -го осветительного прибора или установки, кВт.

Сварочные трансформаторы, мощность которых  $P_5 = \sum_\mu P_5^\mu$ ,

где  $P_5^\mu$  – мощность  $\mu$ -го сварочного трансформатора, кВт.

Общий показатель требуемой мощности для строительной площадки соста-

$$\text{В И Т} \quad P = \alpha \left( \frac{K_1 P_1}{\cos \varphi_1} + \frac{K_2 P_2}{\cos \varphi_2} + K_3 P_3 + K_4 P_4 + K_5 P_5 \right),$$

где  $\alpha$  – коэффициент потери мощности в сетях в зависимости от их протяженности, сечения и др. (равен 1,05 – 1,1);  $\cos \varphi_1$  – коэффициент мощности для группы силовых потребителей электромоторов (равен 0,7);  $\cos \varphi_2$  – коэффициент мощности для технологических потребителей (равен 0,8);  $K_1$  – коэффициент одновременности работы электромоторов (до 5 шт. – 0,6; 6 – 8 шт. – 0,5; более 8 шт. – 0,4);  $K_2$  – то же, для технологических потребителей (принимается равным 0,4);  $K_3$  – то же, для внутреннего освещения (равен 0,8);  $K_4$  – то же, для наружного освещения (равен 0,9);  $K_5$  – то же, для сварочных трансформаторов (до 3 шт. – 0,8; 3 – 5 шт. – 0,6; 5 – 8 шт. – 0,5 и более 8 шт. – 0,4).

При определении расхода электроэнергии на внутреннее и наружное освещение целесообразно использовать удельные показатели мощности (табл. 5).

Таблица 5

<b>Освещаемая площадь</b>	<b>Удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup></b>
Зоны производства механизированных земляных, бетонных работ, каменной кладки	0,8
Зоны производства свайных, маломеханизированных земляных и бетонных работ	0,5
Главные проходы и проезды	5
Второстепенные проходы и проезды	2,5
Охранное освещение	1,5
Склады	3
Канторские и общественные помещения	15
Мастерские	18

Освещенность мест производства строительно-монтажных работ должна быть не менее 2 лк. Рекомендуемые осветительные приборы приведены в табл. 6.

Таблица 6

<b>Ширина зоны территории, м</b>	<b>Осветительные приборы</b>
До 20	Светильники с лампами накаливания
От 21 до 150	Осветительные приборы с лампами ДРЛ
От 151 до 300	Прожекторы с лампами накаливания
Св. 300	Осветительные приборы с ксеноновыми лампами

В городских условиях выбор источников электроэнергии для временного электроснабжения строительной площадки осуществляется обычно за счет подключения к городской электросистеме. При невозможности подсоединения к

городской электросистеме применяют электростанции, которые располагают в местах сосредоточения потребителей электроэнергии.

Последовательность расчета электроснабжения указана в блок-схеме рис.1

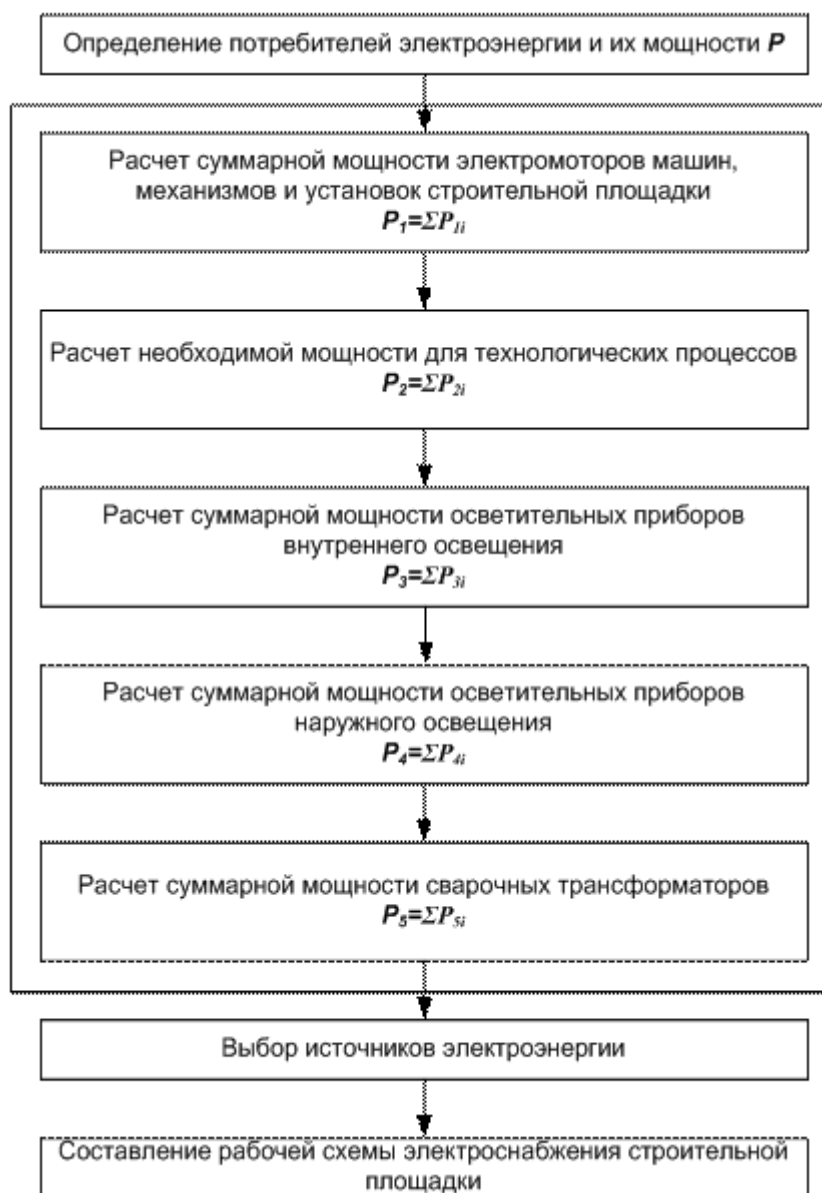


Рис. 2. Блок-схема электроснабжения строительной площадки

### 3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Используя исходные данные курсового проекта провести расчет электрических нагрузок для промышленного объекта, результаты свести в таблицы.

### 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ И ПРОГРАММА ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ.

#### *Расчет параметров электроприемника*

1. Ввести исходные данные электроприемника приведены в табл. 7.



Таблица 7 - Исходные данные

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение параметра
Тип потребителя	—	—	
Тип подключения	—	—	
Номинальное напряжение	$U_{\text{НОМ}}$	кВ	
Паспортная мощность	$P_{\text{НОМ}}$	кВт	
Номинальный коэффициент мощности	$\cos\varphi$	—	
Номинальный коэффициент полезного действия	$\eta_{\text{НОМ}}$	—	

2. Получить результаты расчета табл. 7

Таблица 7 - Результаты расчета

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение параметра
Расчетная полная мощность	$S_p$	кВ·А	
Расчетная активная мощность	$P_p$	кВт	
Расчетный ток	$I_p$	А	
Номинальный коэффициент мощности	$\cos\varphi$	—	

3. Сравнить результаты расчетов

### ***Расчет электрических нагрузок методом коэффициента использования***

1. Ввести исходные данные табл. 9

Таблица 9. Перечень электроприемников

Наименование электроприемника	Тип подключения	Активная мощность $P_{ном}, \text{кВт}$	Кол-во
Электроприемник_1	трехфазный		
Электроприемник_2	трехфазный		
Электроприемник_3	трехфазный		
Итого			

2. Получить результаты расчетов табл. 10

Таблица 10. Результаты расчета электрических нагрузок

Наименование электроприемника	Тип подключения	Активная мощность $P_{ном}, \text{кВт}$	Кол- во	$K_i$ (отн.ед.)	$\cos$	$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ квар	$\tan$	$K_m$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ кВар	$S_p,$ кВ·А	$I_p,$ А
Электроприемник_1	Трехфазный												
Электроприемник_2	Трехфазный												
Электроприемник_3	Трехфазный												
Итого													

3. Сравнить результаты расчетов

### *Расчет электрических нагрузок электроприемников квартир*

1. Ввести исходные данные по типовым квартирам и по квартирам повышенной комфортности

2. Результаты расчетов табл.11, табл. 12, табл. 13.

Таблица 11. Результаты расчета по типовым квартирам

Потребители электроэнергии	Кол-во квартир	Удельная мощность $P_{кв.уд.},$ кВт/квартиру	Расчетная мощность типовых квартир $P_{р.кв.тип.},$ кВт	Коэффициент мощности $\cos\phi$	Расчетная реактивная мощность типовых квартир $Q_{р.кв.тип.},$ квар	Расчетная полная мощность типовых квартир $S_{р.кв.тип.},$ кВА	Расчетный ток типо- вых квар- тир $I_{р.кв.тип.}, \text{А}$
Квартиры с плитами на природном газе							
Квартиры с электрическими плитами, мощ- ностью 8.5 кВт							

Таблица12. Результаты расчета по квартирам повышенной комфортности

Потребители электро- энергии	Установ- ленная (заявлен- ная) мощность $P_{уст.}, \text{кВт}$	Кол- во квар- тир	Коэф- фициент спроса $K_c$	Нагрузка электропри- емников квартир по- вышенной комфортно- сти $P_{кв.лк.},$ кВт	Коэффици- ент одно- временно- сти $K_o$	Расчет- ная мощ- ность квартир повы- шенной комфорт- ности,	$\cos\phi$	$Q_{р.кв.},$ лк, квар	$S_{р.кв.},$ лк, кВА	$I_{р.кв.},$ лк, А
------------------------------------	---	----------------------------	-------------------------------------	---	--	--	------------	-----------------------------	----------------------------	--------------------------

						Р <sub>р.кв.пк</sub> , кВт				
Квартиры типа 1										
Квартиры типа 2										
ИТОГО по квартирам повышенной комфортности										

Таблица 13. Результаты расчета по квартирам в целом

Суммарная нагрузка квартир, кВт	Количество квартир	Коэффициент одновременности $K_{од}$	Расчетная нагрузка на вводе Р <sub>р.кв</sub> , кВт

**расчет электрических нагрузок строительных площадок (своего промышленного объекта)**

1. Ввести исходные данные табл.14.

Таблица 14. Перечень электроприемников стройплощадки (своего промышленного объекта)

Наименование электроприемника	Р <sub>уст</sub> , кВт	Количество
Кран башенный КБ-405		
Наружное освещение		
Трансформатор сварочный		
Трансформатор понижающий		
Вагоны бытовки		
Помещения для охраны		
Металлообрабатывающие станки		
Трансформатор нагрева бетона		
Компрессор		
Переносной электроинструмент		

2. Получить результаты расчетов табл. 15.

Таблица 15. – Результаты расчета нагрузок стройплощадки

Наименование электроприемителя	Установленная мощность Р <sub>ном</sub> , кВт	Коэффициент одновременности К	cosφ	tgφ	Р <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	Sp, кВт·А
Суммарная мощность электромоторов машин, механизмов и установок строительной площадки Р <sub>1</sub>							

Необходимая мощность для технологических процессов $P_2$							
Суммарная мощность осветительных приборов внутреннего освещения $P_3$							
Суммарная мощность осветительных приборов наружного освещения $P_4$							
Суммарная мощность сварочных трансформаторов $P_5$							
<b>Итого по строительной площадке с учетом потерь в сетях</b>							

3. Сравнить результаты расчетов и сделать выводы.

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:

- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

## Лабораторная работа № 9. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ.

### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ.

Приобретения навыков расчета электрического освещения.

### 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**Выбор способа расчетов.** В большинстве случаев светотехнический расчет световых установок сводится к определению числа и мощности источников света, обеспечивающих заданную нормированную освещенность или к определению освещенности, создаваемой на рабочих поверхностях по заданному размещению светильников и мощности источников света.

Все многообразие применяемых методов расчета освещения сводится к двум принципиально различным методам: точечному методу и методу коэффициента использования. Кроме того, существуют упрощенные приемы расчета, основанные на одном из двух указанных методов, наиболее применимым из которых считается метод удельной мощности.

Метод коэффициента использования позволяет обеспечить среднюю освещенность горизонтальной поверхности с учетом всех падающих на нее потоков, как прямых, так и отраженных. Соответственно этим особенностям, метод применяется для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей во вспомогательно-бытовых, административно-конторских и производственных помещениях, а также для расчета наружного освещения, в тех случаях, когда нормирована средняя освещенность.

Точечный метод в основном предназначен для определения освещенности в определенных точках поверхности, создаваемой всеми излучателями, освещающими данную точку, следовательно, пригоден для обеспечения минимальной освещенности. Применение точечного метода целесообразно как для расчета общего равномерного освещения, так и для расчета установок с повышенной неравномерностью освещения (например, локализованное освещение светильниками прямого света), а также для расчета местного и наружного освещения при любом расположении освещаемых поверхностей.

Хотя общее равномерное освещение может быть рассчитано обоими методами, все же в более ответственных случаях предпочтение отдается точечному методу, поскольку он позволяет более точно проанализировать распределение освещенности по площади помещения.

Упрощенные формы метода коэффициента использования (таблицы удельной мощности) используют в тех же случаях, что и сам метод. Упрощение расчетов достигается за счет некоторой утраты точности, поэтому таблицы следует применять только при тех параметрах рассчитываемой установки (тип светильника, коэффициенты отражения и т.д.), которые в них указаны.

**Расчет методом удельной мощности.** Приближенный метод определения мощностей осветительной установки при равномерном распределении источников света по удельной мощности ( $\omega$ ) более прост по сравнению с остальными методами.

Удельной мощностью  $\omega$  (Вт/м<sup>2</sup>) называется величина, равная отношению общей (установленной) мощности источников света ( $P_{уст}$ ), установленных в помещении, к площади данного помещения ( $S$ ).

$$\omega = \frac{P_{уст}}{S}.$$

Порядок расчета:

1. Наметить общее число светильников и их рядов исходя из оптимального их расположения. Определить общее число источников света

$$N = N_{св} n,$$

где  $N$  – количество источников света,  $N_{св}$  – количество светильников,  $n$  – количество ламп в светильнике.

2. Определить значение удельной мощности

Удельная мощность устанавливается по справочным таблицам в зависимости от высоты помещения, коэффициентов отражения, типов ламп и светильников [39; 48; 49]. В настоящее время существует огромное количество светильников различных типов и фирм производителей, поэтому таблицы удельных мощностей часто приводятся в зависимости от типа кривой силы света и, таким образом, позволяют охватить более широкий круг светотехнической продукции. В случае если в справочных данных при выборе типа светильника не указана его кривая силы света, ее необходимо определить. Для этого рассчитывается показатель

$$\lambda = \frac{L}{h_p},$$

где  $L$  – расстояние между светильниками или их рядами.

По значению  $\lambda$  и справочным таблицам определяется типовая кривая силы света.

Следует учесть, что таблицы удельных мощностей обычно приводятся для освещенности  $E_n=100$  лк и значений коэффициентов отражения  $\rho_n=0.5$ ;  $\rho_c=0.3$ ;  $\rho_p=0.1$ . При расчете установок, имеющих другие значения коэффициентов отражения следует пользоваться следующими коэффициентами пересчета ( $K_p$ ):

1.08 для  $\rho_n=0.5$ ;  $\rho_c=0.5$ ;  $\rho_p=0.1$ .

0.92 для  $\rho_n=0.7$ ;  $\rho_c=0.5$ ;  $\rho_p=0.1$ .

0.84 для  $\rho_n=0.7$ ;  $\rho_c=0.5$ ;  $\rho_p=0.3$ .

Во всех других случаях  $K_p=1$ .

Пересчет для другой освещенности  $E_n$  производится по формуле:

$$\omega = \omega_{100} \frac{E_n}{100} K_p,$$

где  $\omega_{100}$  – удельная мощность при освещенности 100 лк;  $K_p$  – поправочный коэффициент на различие коэффициентов отражения потолка ( $\rho_n$ ), стен ( $\rho_c$ ) и рабочей поверхности ( $\rho_p$ ).

Как правило, справочные данные приводятся для условного КПД=100% (или в долях КПД=1). Расчетное значение удельной мощности  $\omega$  для реально применяемых светильников определяется дополнительным делением табличного значения  $\omega_{100}$  на выраженный в долях единицы КПД светильников ( $\eta_{св}$ ). Кроме того, необходимо учитывать разницу между коэффициентом запаса помещения принятым для расчета ( $K_3$ ) по справочным и реальным значением коэффициента запаса в таблице удельных мощностей ( $K_{31}$ ):

$$\omega = \omega_{100} \frac{E_n K_3 K_p}{100 \eta_{св} K_{31}},$$

3. Рассчитать общую (установленную) мощность источников света

$$P_{уст} = \omega S.$$

4. Определить мощность источника света ( $P_l$ )

$$P_l = \frac{P_{уст}}{N}.$$

**Точечный метод расчета.** Расчет освещения в точке горизонтальной, вертикальной или наклонной плоскости точечным методом связан с определением светового потока, падающего от излучателей любой формы на элементарную площадку, содержащую расчетную точку (рис.1). На рисунке приняты следующие обозначения: А – расчетная точка,  $h_p$  – высота расположения осветительного прибора (О) относительно расчетной плоскости; d, p – расстояние от проекции оси светильника на освещаемую поверхность до расчетной точки.

Все многообразие форм излучателей по процессу формирования освещенности в точке подразделяется на:

1. Точечные – это источники света, от каждого из которых в расчетную точку может упасть только один луч. Точечным можно считать излучатель, размеры которого не превышают 0,2 расстояния до освещаемой точки пространства. К точечным излучателям относятся: прожекторы, осветительные приборы с ДРЛ, МГЛ, НЛВД, НЛНД (рис. а).

2. Линейные (светящиеся линии) – это источники света, от каждого из которых в расчетную точку может сходиться множество лучей, лежащих в одной плоскости. Линейным можно считать излучатель, длина которого превышает  $(1/2)h_p$ . К линейным относятся люминесцентные светильники (рис. б).

3. Поверхностные – это источники света, от каждого из которых в расчетную точку может сходиться множество лучей, образующих телесный угол, прибли-

жающийся в пределе к  $2\pi$ . К ним относятся, например, установки отраженного света в виде световых потолков.

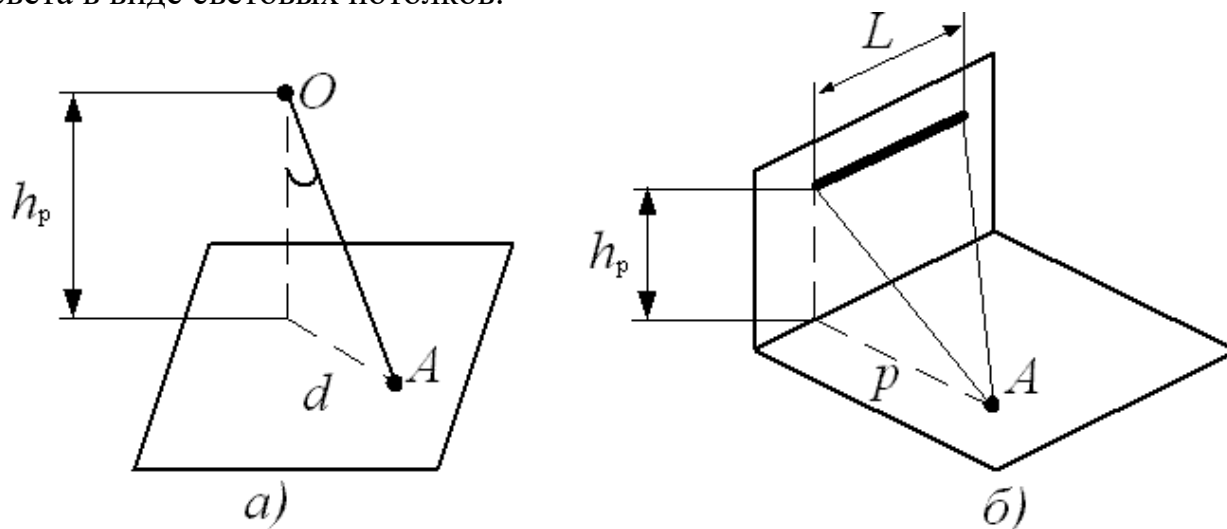


Рис.1

**Расчет освещения производственных помещений.** Световой поток лампы  $\Phi_{\text{л}}$ , необходимый для обеспечения заданной минимальной освещённости  $E_{\text{норм}}$  при количестве однотипных светильников  $N$  определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{норм}} K_z F z}{N \eta},$$

где  $K_z$  – коэффициент запаса, справочная величина;

$F$  – площадь освещаемой поверхности,  $\text{м}^2$ ;

$z$  – коэффициент минимальной освещённости:

$z=1,1$  – для люминесцентных ламп,

$z=1,15$  – для ламп накаливания и ламп ДРЛ,

$$z = \frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{норм}}},$$

где  $E_{\text{ср}}$  – средняя освещённость, лк;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока источника света, доли единиц.

Коэффициент  $\eta$  принимается по в зависимости от типа светильника и типа лампы, коэффициентов отражения потолка  $\rho_{\text{п}}$ , стен  $\rho_{\text{ст}}$  и рабочей поверхности  $\rho_{\text{р}}$ , а так же в зависимости от индекса помещения. Индекс помещения учитывает его размеры и определяется по формуле:

$$i = \frac{a \times b}{h(a+b)},$$

где  $a$ ,  $b$  и  $h$  – длина, ширина и высота помещения, м.



Если тип светильников и ламп известен, то определив по паспортным данным световой поток одного светильника можно определить их количество, необходимое для создания  $E_{\text{норм}}$ :

$$N = \frac{E_{\text{норм}} K_z F_z}{\Phi_{\text{л}} \eta}.$$

Общая мощность светильников, установленных в  $i$ -ом помещении:

$$P_{\text{уст},i} = P_1 N,$$

где  $P_1$  – мощность одного светильника.

Расчётная мощность осветительных установок для  $i$ -го помещения определяется:

$$P_{\text{расч},i} = K_c K_{\text{ПРА}} P_{\text{уст},i},$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса, значения приведены в [40];

$K_{\text{ПРА}}$  – коэффициент, учитывающий потери мощности в ускорегулирующей аппаратуре, значения приведены в [40].

Расчетная реактивная нагрузка осветительных установок для  $i$ -го помещения:

$$Q_{\text{расч},i} = P_{\text{расч},i} \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  соответствует  $\cos \varphi$  осветительной установки. Значения  $\cos \varphi$  приведены в [40].

Расчётные мощности осветительных сетей в целом:

$$P_{\text{расч}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{расч},i},$$

$$Q_{\text{расч}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{расч},i},$$

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{P_{\text{расч}}^2 + Q_{\text{расч}}^2}.$$

**Расчет освещения жилых и общественных помещений.** Целью светотехнического расчета является разработка рекомендаций по расположению оптимального количества светильников нужного типа в помещении для создания комфортных, удовлетворяющих всем нормам условий пребывания человека.

Одним из наиболее важных качественных показателей освещения, регламентируемых нормативными документами, является коэффициент пульсации. Для офисных помещений нормируемый коэффициент пульсации в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 составляет не более 10%, а если в помещениях планируется работа за компьютером, это значение составляет не более 5%. Наиболее простым и эффективным способом устранения пульсаций светового потока является использование светильников с электронной пускорегулирующей аппаратурой.

При выборе светильников также нужно определиться с типом потолка в помещении для того, чтобы понять, каким образом фиксировать на нем осветительные приборы.

По методу коэффициентов использования необходимое количество светильников  $N$  в осветительной установке определяется с помощью формулы:

$$N = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3}{K_{\text{И}} \cdot n \cdot \Phi_{\text{Л}}},$$

где  $E_H$  – нормативный уровень освещенности, лк;  $S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;  $K_3$  – коэффициент запаса;  $K_{\text{И}}$  – коэффициент использования;  $n$  – количество ламп в светильнике;  $\Phi_{\text{Л}}$  – световой поток одной лампы в светильнике.

Основным критерием, по которому определяется необходимое количество осветительных приборов, является нормируемый уровень освещенности  $E_H$ . Этот показатель для помещения по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 (СНиП 23-05-95) составляет 300 лк для расчетной плоскости на высоте 0,8 м от пола.

Площадь помещения определяется по формуле:

$$S = a \cdot b,$$

где  $a$  – длина помещения, м;  $b$  – ширина помещения, м.

Коэффициент использования  $K_{\text{И}}$  характеризует эффективность использования светового прибора в помещении. Для его определения необходимо знать индекс помещения  $\varphi$  и коэффициенты отражения стен, пола и потолка.

Рассчитывается индекс помещения (рис. 1) по формуле:

$$\varphi = \frac{S}{(h_1 - h_2) \cdot (a + b)},$$

где  $h_1$  – высота помещения, м;  $h_2$  – высота расчетной поверхности, м.

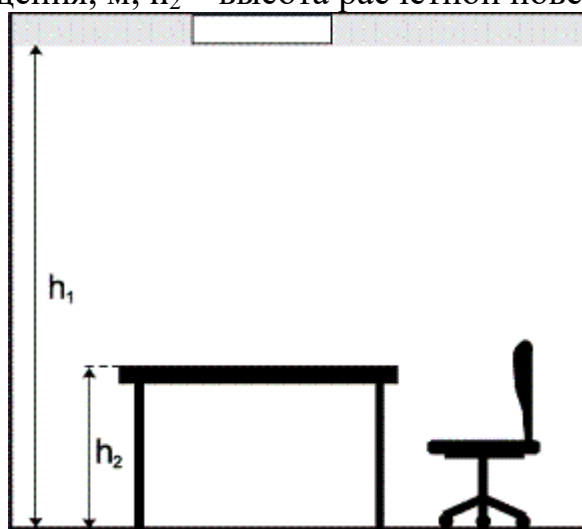


Рис. 1 – Схема помещения

С учетом коэффициентов отражения стен, пола и потолка по таблицам производителей светильников определяют коэффициент использования  $K_{\text{И}}$ . Для известного количества ламп в светильнике  $n$  выбранного типа и светового потока  $\Phi_{\text{Л}}$  по формуле (1) определяется требуемое количество светильников. С учетом допуска -10%–+20% количество светильников может варьироваться.

### 3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Используя исходные данные курсового проекта провести расчет электрических нагрузок для промышленного объекта, результаты свести в таблицы.

#### 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ И ПРОГРАММА ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ.

**Расчет освещенности производственных помещений.** Расчет освещенности осуществляется методом коэффициента использования светильников

1. Ввести исходные данные в табл. 1-5.

Таблица 1.

Наименование помещения	Длина помещения (А), м	Ширина помещения (В), м	Высота помещения (Н), м	Высота свеса светильников (Нс), м	Высота рабочей поверхности (Нр), м	Нормируемый уровень освещенности (Енорм), лк	Коэффициент отражения потолка, %	Коэффициент отражения стен, %	Коэффициент отражения рабочей поверхности, %	Средняя освещенность в цехе
Помещение 1										

Таблица 2

Наименование помещения	Расчетная высота (Нр), м	Среда в цехе	Тип светильника	Количество ламп (Нл), шт	cosφ	Тип лампы	Мощность лампы (Рл), Вт	Световой поток лампы (Фл), лм
Помещение 1								

Таблица 3

Наименование помещения	Среда в цехе	Индекс помещения (i)	Коэффициенты отражения	Тип лампы	Коэффициент минимальной освещенности (z)	Коэффициент запаса (Кз)	Коэффициент использования (Ки)
Помещение 1							

Таблица 4

Наименование помещения	Тип светильника	Количество ламп (Нл)	Тип лампы	Количество светильников (Нсв)	Количество светильников (Нсв), принятое	Примечание
Помещение 1						

Таблица 5

Наименование помещения	Тип светильника	Количество ламп (Нл)	Тип лампы	Количество светильников (Нсв)	Мощность лампы (Рл), Вт	Мощность установленная (Руст), кВт	Коэффициент спроса	Коэффициент ПРА	Мощность активная расчетная (Рр), кВт	cosφ	Мощность реактивная расчетная (Qр), кВар
Помещение 1											

2. Получить результаты расчетов табл. 7

Таблица 7

Наименование помещения	Тип светильника	Количество ламп (Нл)	Тип лампы	Количество светильников (Нсв)	Мощность лампы (Рл), Вт	Мощность установленная (Руст), кВт	Мощность активная расчетная (Рр), кВт	Мощность реактивная расчетная (Qр), кВар	cosφ
Помещение 1									
ИТОГО		-	-		-				-

3. Сравнить результаты расчетов и сделать вывод

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:

- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

## Лабораторная работа №8 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ. ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОДСТАНЦИЙ

### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ.

Приобретения навыков расчета и выбора числа и мощностей трансформаторов подстанций.

### 2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

#### **Выбор числа и мощности трансформаторов подстанций**

При выборе трансформаторов учитывается:

- 1) категория надёжности электропотребителей. Для 1-й категории оптимальный коэффициент загрузки составляет  $K_z=0,6-0,7$ ; для 2-й категории –  $K_z=0,7-0,8$ ; для 3-й категории –  $K_z=0,9-0,95$ ;
- 2) полная расчетная мощность ТП  $S_P$ , кВ·А.

Минимальное число трансформаторов  $N_T$  определяется по формуле:

$$N_T = \frac{S_P}{K_z S_{HT}}$$

где  $S_P$  – расчетная полная нагрузка подстанции, кВт;  $K_z$  - коэффициент загрузки трансформаторов, принимается в зависимости от категории надежности потребителей электроэнергии;  $S_{ном.т}$  - номинальная мощность трансформатора, кВ·А, выбираемая из стандартного ряда мощностей силовых трансформаторов [18].

Фактический коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме определяют по формуле:

$$K_{зр} = \frac{S_P}{N_T S_{HT}}$$

Коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме составит:

$$K_{з.пав} = \frac{S_P}{(N_T - 1) S_{HT}}$$

**Выбор номинальной мощности силового трансформатора по заданному графику нагрузки.** Выбор мощности трансформаторов производится на основании расчётной нагрузки в нормальном режиме работы с учётом режима работы энергоснабжающей организации по реактивной мощности. В послеаварийном режиме для надёжного электроснабжения потребителей предусматривается их питание от оставшегося в работе трансформатора. При этом часть неответственных потребителей с целью снижения нагрузки трансформатора может быть отключена.

Для подсчёта допустимой систематической нагрузки действительный график (рис. 1) преобразуется в эквивалентный двухступенчатый график.

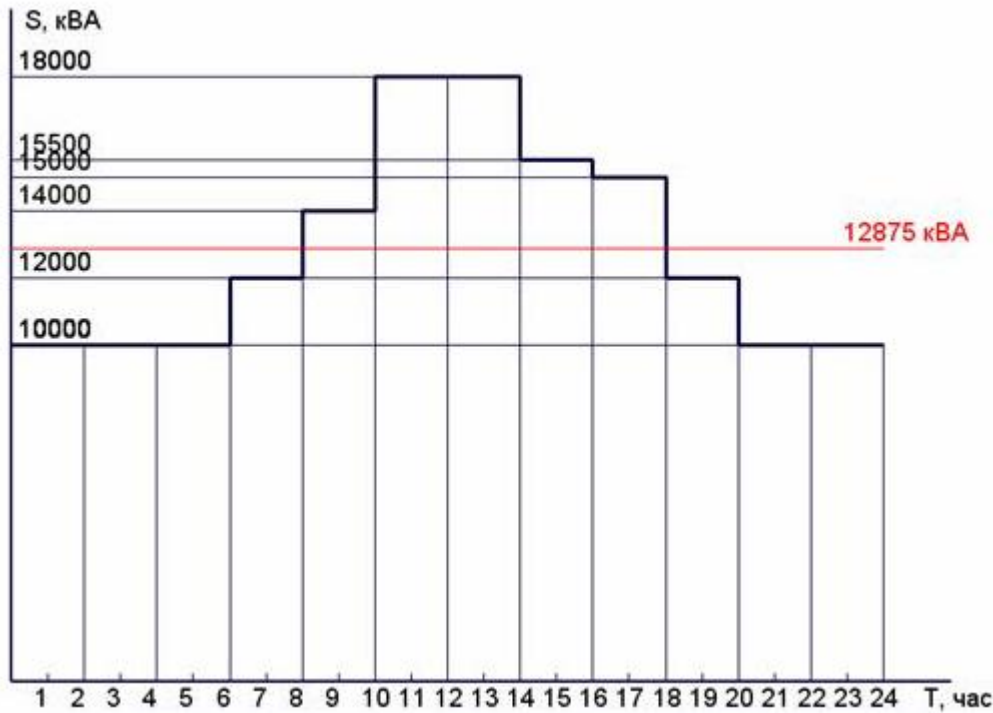


Рис. 1 – Суточный график нагрузки

Предполагая, что мощность трансформатора неизвестна, для преобразования графика используется приближённый подход. Для этого находят среднюю нагрузку из суточного графика по формуле

$$S_{cp} = \frac{\int_0^{24} f(t) dt}{24}$$

На исходном графике нагрузки (рис. 1) трансформатора выделяют пиковую часть из условия  $S_{пик} > S_{cp}$  и проводят линию номинальной мощности трансформатора  $S_{ном}$ , она же линия относительной номинальной нагрузки  $K = 1$ . Выделяют на графике участок перегрузки продолжительностью  $h'$ .

Оставшуюся часть исходного графика с меньшей нагрузкой разбивают на  $m$  интервалов  $\Delta t_j$ , а затем определяют значения  $S_1, S_2, S_m$ .

Рассчитывают коэффициент начальной нагрузки  $K_1$  эквивалентного графика по формуле

$$K_1 = \frac{S_{н1}}{S_{cp}} = \frac{1}{S_{cp}} \sqrt{\frac{S_1^2 \Delta t_1 + S_2^2 \Delta t_2 + \dots + S_m^2 \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}}$$

где  $S_{н1}$  – начальная нагрузка, МВ·А;

$S_1, S_2, \dots, S_m$  – значения нагрузки в интервалах  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_m$ .

Участок перегрузки  $h'$  на исходном графике нагрузки разбивают на  $p$  интервалов  $\Delta h_p$  в каждом интервале, а затем определяют значения  $S_1', S_2', S_m'$ .

Рассчитывают предварительное превышение перегрузки эквивалентного графика нагрузки в интервале  $h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p$  по формуле

$$K_2 = \frac{S_{н2}}{S_{cp}} = \frac{1}{S_{cp}} \sqrt{\frac{(S_1')^2 \Delta h_1 + (S_2')^2 \Delta h_2 + \dots + (S_p')^2 \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p}}$$

Полученное значение  $K_2'$  сравнивают с  $K_{\max} = 1,40$  (рис. 1) исходного графика нагрузки:  $K_2' < 0,9K_{\max}$ . При невыполнении условия корректируют продолжительность перегрузки по формуле

$$h = \frac{(K_2')^2 h}{(0,9K_{\max})^2}$$

Максимально допустимая систематическая нагрузка определяется при условии, что наибольшая температура обмотки  $+140^\circ\text{C}$ , наибольшая температура масла в верхних слоях  $+95^\circ\text{C}$  и износ изоляции за время максимальной нагрузки такой же, как при работе трансформатора при постоянной номинальной нагрузке, когда температура наиболее нагретой точки не превышает  $+108^\circ\text{C}$  [19].

По полученным значениям  $K_1$  и  $h$  (ч) при средней температуре охлаждающей среды за время действия графика  $\theta_{\text{охл}}$  ( $^\circ\text{C}$ ) по [19, П.І] определяют допустимое значение перегрузки  $K_{\text{н.доп}}$ . Делается вывод о допустимости систематической перегрузки.

Номинальная мощность силового трансформатора находится из выражения

$$S_{\text{ном.Т}} = \frac{S_{н2}}{NK_{\text{н.доп}}} = \frac{K_2' S_{cp}}{NK_{\text{н.доп}}}$$

На основании выполненного расчёта принимают к рассмотрению варианты мощностей силовых трансформаторов.

Коэффициент загрузки трансформаторов в часы максимума нагрузки определяют по формуле

$$K_{3T1} = \frac{S_{\max}}{NS_{\text{ном.Т}}}$$

Затем рассчитывают предварительное превышение перегрузки эквивалентного графика нагрузки

Полученное значение  $K_2'$  сравнивают с  $K_{\max}$  (рис. 1) исходного графика нагрузки:  $K_2' < 0,9K_{\max}$ . При необходимости корректируется продолжительность перегрузки

Допустимая систематическая перегрузка за счёт неравномерности суточного графика  $K_{\text{доп}}$  определяется по [19, П.табл.І] при  $h$  (ч), уточнённом значении  $K_{31}$  и средней температуре охлаждающей среды за время действия графика  $\theta_{\text{охл}}$  ( $^\circ\text{C}$ ). Делается вывод о допустимости систематической перегрузки.

В случае допустимости систематической перегрузки определяется возможность перегрузки намеченных трансформаторов при выходе из строя одного из них. Допустимая аварийная перегрузка определяется предельно допустимыми температурами обмотки ( $140^\circ\text{C}$ ) и температурой масла в верхних слоях ( $115^\circ\text{C}$ ). Длительные аварийные перегрузки масляных трансформаторов допускаются в соответствии со следующим правилом: трансформатор можно пере-

гружать на 40% сверх номинального тока в течение не более 5 суток подряд на время максимумов нагрузки общей продолжительностью не более 6 часов в сутки при условии, что коэффициент предшествующей нагрузки не превышает 0,93.

При отключении одного трансформатора расчетный коэффициент аварийной перегрузки составит  $K_{ав}$ . Допустимый коэффициент аварийной перегрузки  $K_{ав}$  доп находят по [19, П.табл.Н.1] в зависимости от  $h$  (ч) при средней температуре охлаждающей среды за время действия графика  $\theta_{охл}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). Делается вывод о допустимости аварийной перегрузки

### 3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Используя исходные данные курсового проекта провести расчет электрических нагрузок для промышленного объекта, результаты свести в таблицы.

### 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ И ПРОГРАММА ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ.

#### *Расчет и выбор трансформаторов промышленного объекта*

#### 1. Ввести исходные данные в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные

Введите расчетную активную мощность $P_p$ ТП (кВт):	
Введите расчетную реактивную мощность $Q_p$ ТП (квар):	
Выберите минимальное количество силовых трансформаторов на ТП:	выбрать
Выберите максимальное количество силовых трансформаторов на ТП:	выбрать
Выберите процент мощности потребителей 3 категории, которые могут быть отключены от электроснабжения в момент аварийной перегрузки силовых трансформаторов (%):	выбрать
Выберите минимальный коэффициент загрузки силовых трансформаторов в нормальном режиме:	Выбрать
Выберите максимальный коэффициент загрузки силовых трансформаторов в послеаварийном режиме:	Выбрать

#### 2. Получить таблицу результатов – табл.2

Таблица 2

Параметр	Размерность	Вариант #1	Вариант #2	Вариант #3
Расчетная мощность ( $S_p$ )	кВА			
Номинальная мощность трансформатора ( $S_{ном}$ )	кВА			
Количество трансформаторов на подстанции ( $N$ )	шт			
Коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме ( $K_3$ ).	отн. ед.			
Коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме ( $K_{ав}$ ).	отн. ед.			
Процент мощности отключенных потребителей в	%			



послеаварийном режиме.				
Проверка на допустимые систематические и аварийные перегрузки по ГОСТ-14209		Проверить...	Проверить...	Проверить...
Подбор по базе данных		Подобрать...	Подобрать...	Подобрать...

3. Выбрать марку трансформаторов

4. Произвести проверку на допустимые систематические и аварийные перегрузки

5. Выбрать правильный вариант

6. Сделать выводы

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:

- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

## Библиографический список

1. Жаворонков М.А. Электротехника и электроника: учебное пособие для вузов/М.А. Жаворонков, А.В. Кузин.-М.: Академия, 2005.-400с.
2. Кужеков С.Л. Городские электрические сети: Учебное пособие/С.Л. Кужеков, С.В. Гончаров.-Ростов-н/Д.: МарТ, 2001.-256с.
3. Рекус Г.Г. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических спец. вузов/ Г.Г. Рекус, А.И. Белоусов.- 2-е изд. перераб.-М.: Высшая школа, 2001.-416с.
4. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф. образования/Е.А.Конюхова .-М.: Мастерство.Высш.шк.2001.-320с.
5. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения.: учебное пособие для среднего профессионального образования/В.П.Шеховцов.- М.: Форум. Инфра-М.2005.-213с.
6. Иванов И.И. Электротехника.: учебник для вузов/ И.И. Иванов, Г.И. Соловьев, В.С. Равдоник. – 4-е изд. Стер.-СПб и др.: Лань, 2006.-496с.
7. Паначевный Б.И. Курс электротехники.: учебник для вузов/ Б.И. Паначевный. – 2-е изд. дораб.-Ростов-н/Д: Торсинг, 2002.-288с.
8. Николаевская И.А. Инженерные сети и оборудование территорий, зданий и стройплощадок: учебник для сред. проф. Образования/ И.А. Николаевская, Л.А. Горлопанова, Н.Ю. Морозова.-М.: Академия, 2004.-224с.
9. Зайцев В.Е. Электротехника. Электроснабжение, электротехнология и электрооборудование строительных площадок: учеб. пособие для сред. проф. образования/ В.Е. Зайцев, Т.А. Нестерова.-2-еизд. Испр.-М. Академия, 2004.-128с.
10. Ус.А.Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий учебное пособие для средних учебных заведений/ А.Г. Ус, Л.И. Евминов.-Минск: НПООО «Пион», 2002.-457с.
11. Электротехника и электроника: учебное пособие для вузов/В.В. Кононенко и др.: под ред В.В. Кононенко. – 4-е изд. – Ростов-н/Д: Феникс.2008.-778с.
12. Кужеков С.Л. Практическое пособие по электрическим сетями электрооборудованию/ С.Л. Кужеков, С.В. Гончаров.-4е изд. доп. и перераб.- Ростов-н/Д:Феникс. 2010.-493с.