

Министерство образования и науки Челябинской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
**«Южно-Уральский государственный технический колледж»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
по учебной дисциплине  
«Электротехника и электроника»**

для студентов специальности 15.02.01  
**Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования**  
**(по отраслям)**  
(базовая подготовка)

Челябинск, 2019

Составлено в соответствии с  
программой учебной  
дисциплины  
«Электротехника и  
электроника»

ОДОБРЕНО

Предметной (цикловой)  
комиссией специальности  
протокол № \_\_\_\_\_

от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Руководитель специальности

\_\_\_\_\_ Н.В. Озорнина

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по НМР

\_\_\_\_\_ Т.Ю. Крашакова

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г.

**Составитель: Лыкова В.В.**, преподаватель ГБПОУ Южно-Уральского  
государственного технического колледжа

**Актуализация: Пестрикова А.А.** преподаватель ГБПОУ «Южно-Уральский  
государственный технический колледж»

## АКТ СОГЛАСОВАНИЯ

на методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по учебной дисциплине «Электротехника и электроника» для студентов специальности 15.02.01 Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям) (базовая подготовка), актуализированные преподавателем Южно-Уральского государственного технического колледжа А.А. Пестриковой

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по учебной дисциплине «Электротехника и электроника» составлены в соответствии с программой учебной дисциплины. Программой учебной дисциплины «Электротехника и электроника» предусмотрено выполнение 9 лабораторных работ, рассчитанных на 18 часов аудиторных занятий.

Пояснительная записка содержит перечень актуализируемых знаний, осваиваемых умений. Методические рекомендации к каждой лабораторной работе содержат:

- номер лабораторной работы;
- название лабораторной работы;
- цель работы;
- формируемые на данном занятии умения, актуализируемые знания;
- теоретическое изложение необходимого материала, формулы, рисунки, графики;
- варианты заданий, таблицы исходных данных;
- описание алгоритма выполнения работы;
- контрольные вопросы;
- форму отчета.

Методические рекомендации выполнены в соответствии с программой учебной дисциплины «Электротехника и электроника» для студентов специальности 15.02.01 Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям) (базовая подготовка) и могут быть использованы в образовательном процессе.

Технический директор  
ЗАО «ВММ-2»



Р.Г. Девальд

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по учебной дисциплине «Электротехника и электроника» предназначены для студентов специальности 15.02.01 Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям) (базовая подготовка).

Лабораторные занятия являются важным элементом учебной дисциплины, так как в ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с различными приборами, установками, лабораторным оборудованием, аппаратурой, которые составляют часть профессиональной практической подготовки, а также общие компетенции, проявляющиеся через умение наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимость, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, оформлять результаты в виде отчетов.

В процессе выполнения лабораторных работ обучающиеся систематизируют и закрепляют полученные теоретические знания, развивают интеллектуальные и профессиональные умения, формируют элементы компетенций будущих специалистов.

Программой учебной дисциплины «Электротехника и электроника» предусмотрено выполнение 9 лабораторных работ.

Выполнение лабораторных работ направлено на формирование

### ***умений:***

- собирать простейшие электрические цепи;
- выбирать электроизмерительные приборы;
- определять параметры электрических цепей;
- пользоваться электронными приборами и оборудованием.

Закрепление

### ***знаний:***

- принцип работы и характеристики электронных приборов;
- сущность физических процессов, протекающих

в электрических и магнитных цепях;

- построение электрических цепей, порядок расчета их параметров;

- способы включения электроизмерительных приборов и методы измерений электрических величин.

Методические рекомендации по проведению лабораторных работ разработаны с целью оказания помощи студентам в приобретении необходимых навыков сборки схем, исследования электрических машин, электронных приборов и устройств.

Данные методические рекомендации определяют общий объем знаний, подлежащий обязательному усвоению студентами при выполнении каждой лабораторной работы, что позволяет студентам закреплять знания теории, формировать и развивать навыки исследования электрических схем, электрических машин, электронных приборов и устройств, воспитывает познавательную активность и профессиональную ответственность за результаты опытов, формирует навыки соблюдения правил техники безопасности.

Каждая работа имеет:

- номер;
- наименование;
- цель работы;
- формируемые в процессе выполнения работы знания и умения;
- теоретическое обоснование;
- электрическую принципиальную схему опыта;
- перечень приборов и (или) оборудования;
- порядок выполнения работы;
- содержание отчета;
- контрольные вопросы.

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ содержат список рекомендуемой литературы. Титульный лист должен быть оформлен в соответствии с приложением А.

## ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Раздел	Номер и наименование лабораторной работы	Часы
1	1. Исследование электрической цепи при различных способах соединения участков.	2
	2. Исследование разветвленной магнитной цепи	2
	3. Измерение энергии в однофазной цепи	2
	4. Исследование работы трехфазной цепи при соединении потребителей энергии звездой.	2
	5. Исследование трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.	2
	6. Исследование схемы релейно-контакторного управления трехфазным асинхронным двигателем.	2
2	7. Исследование полупроводникового диода.	2
	8. Исследование работы однофазного выпрямителя.	2
	9. Исследование формы выходного напряжения электронных генераторов.	2
<b>Всего:</b>		<b>18</b>

## Лабораторная работа № 1

### «Исследование электрической цепи при различных способах соединения участков»

**Цель работы:** Опытное определение соотношений между токами и напряжениями при последовательном и параллельном соединении резисторов.

**Умения:**

- производить расчеты простых электрических цепей;
- рассчитывать параметры различных электрических цепей и схем.

**Знания (актуализация):**

- методы расчета и измерения основных параметров электрических цепей;
- основные законы электротехники;
- параметры электрических схем и единицы их измерения.

**Приборы и оборудование:**

1. Источник переменного напряжения 220 В.
2. Группы ламп накаливания. -2шт.
3. Амперметры с  $I_{\text{ном}}=2.5$  А -3шт.
4. Амперметр с  $I_{\text{ном}}=1$  А -1шт.
5. Вольтметр с  $U_{\text{ном}}=250$  В -1шт.

### Теоретическое обоснование

#### Последовательное соединение резисторов.

Соединение резисторов называется последовательным, если при наличии источника питания через все резисторы проходит один и тот же ток (см. рисунок 1).

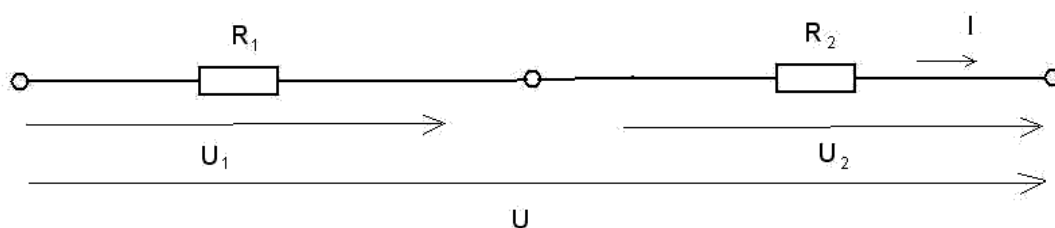


Рисунок 1 – Последовательное соединение резисторов

Свойства:

1. При последовательном соединении резисторов ток через все резисторы проходит один и тот же:  $I = I_1 = I_2$ .

2. Напряжение на зажимах цепи при последовательном соединении резисторов равно сумме напряжений на её отдельных участках.

$$U = U_1 + U_2$$

3. Сопротивление при последовательном соединении резисторов равно сумме сопротивлений всех последовательно соединенных участков.

$$R = R_1 + R_2$$

При последовательном соединении  $n$  резисторов общее сопротивление всей цепи равно арифметической сумме сопротивлений всех резисторов

$$R = \sum_{k=1}^n R_k$$

### Параллельное соединение резисторов.

Участок цепи, вдоль которого проходит один и тот же ток называется *ветвью*, а место соединения трех и большего числа ветвей называется *узлом*.

Соединение резисторов называется параллельным, если они присоединены к одной и той же паре узлов электрической цепи, то есть находятся под действием одного и того же напряжения.

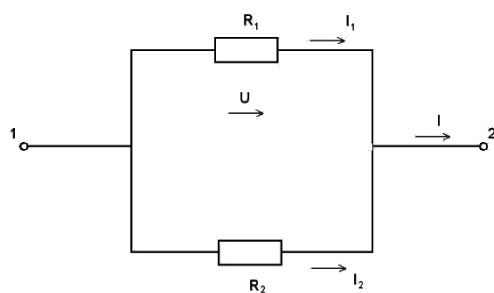


Рисунок 2 – Параллельное соединение резисторов

Свойства:

1. Напряжение на параллельно соединённых резисторах одинаково:

$$U = U_1 = U_2$$



2. Ток в неразветвлённой части цепи равен сумме токов в параллельно соединённых резисторах.

$$I = I_1 + I_2$$

Для каждой ветви и для всей цепи можно записать закон Ома

$$I_1 = \frac{U}{R_1} ; I_2 = \frac{U}{R_2} ; I = \frac{U}{R}$$

где  $R$  – общее (эквивалентное) сопротивление всей цепи.

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

разделив обе части равенства на  $U$ , окончательно имеем

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} , \quad R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

3. При параллельном соединении резисторов общая проводимость равна сумме проводимостей отдельных ветвей  $G = G_1 + G_2$ ,

где  $G = \frac{1}{R}$

**Задание 1** Установить опытным путем соотношений между токами и напряжениями при последовательном соединении резисторов.

**Порядок выполнения работы:**

1. Собрать схему последовательного соединения двух участков с лампами накаливания (рисунок 1) и предъявить для проверки преподавателю.

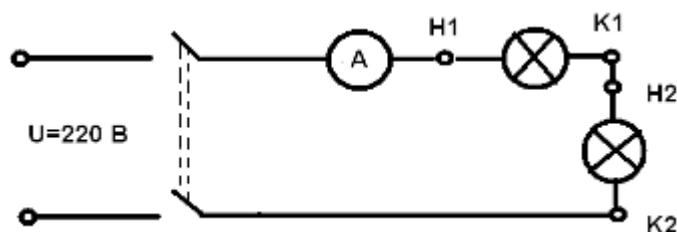


Рисунок 1 – Схема последовательного соединения резисторов.

2. Включить силовой выключатель. Включить лампы на первом и втором участках, провести измерения тока цепи и напряжений участков цепи. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты измерений тока и напряжения в цепи

№ п/п	Опытные данные				Расчётные данные		
	I, А	U <sub>1</sub> , В	U <sub>2</sub> , В	U, В	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	R, Ом
1							
2							
3							

3. Рассчитать сопротивления участков, результаты занести в таблицу 1:

$$R_1 = \frac{U_1}{I} \quad R_2 = \frac{U_2}{I} \quad R = \frac{U}{I}$$

4. Пользуясь данными опытов и расчетов, подтвердить свойства последовательного соединения:

$$R = R_1 + R_2 \quad U = U_1 + U_2$$

**Задание 2:** Установить опытным путем соотношений между токами и напряжениями при параллельном соединении резисторов.

#### Порядок выполнения работы:

1. Собрать схему параллельного соединения двух участков с лампами накаливания (рисунок 2) и предъявить для проверки преподавателю.

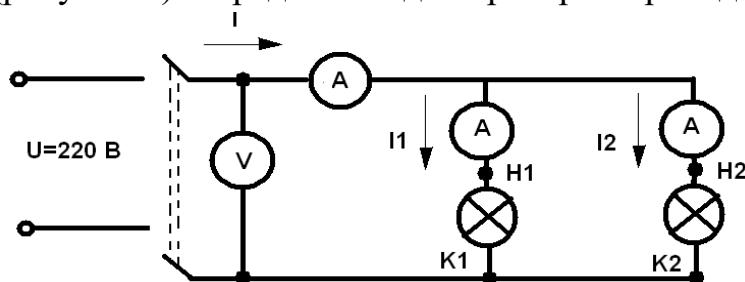


Рисунок 2 – Схема параллельного соединения резисторов.

2. Включить силовой выключатель. Включить лампы на первом и втором участках цепи. Провести измерения напряжения на зажимах цепи и токов ветвей (участков). Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2 Результаты измерений тока и напряжения в цепи

№ п/п	Опытные данные				Расчётные данные					
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I	U	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>12</sub>	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>12</sub>
1										
2										
3										

3. Рассчитать сопротивления и проводимости участков, результаты расчетов занести в таблицу 2:

$$R_1 = \frac{U}{I_1} \quad R_2 = \frac{U}{I_2} \quad R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad G_1 = \frac{I_1}{U} \quad G_2 = \frac{I_2}{U} \quad G_{12} = \frac{I}{U}$$

4. Пользуясь данными опытов и расчетов, подтвердить свойства параллельного соединения:

$$I = I_1 + I_2 \quad G_{12} = G_1 + G_2$$

5. Сделать вывод.

### Контрольные вопросы.

1) Как изменится напряжение на первом участке при последовательном соединении участков с лампами накаливания, если увеличить на нем число включенных ламп?

2) Как изменится величина тока в цепи при последовательном соединении участков, если на втором участке выключить все лампы?

3) Как изменится величина тока в цепи при параллельном соединении участков, если на втором участке выключить все лампы?

## Лабораторная работа №2

### «Исследование разветвлённой магнитной цепи»

**Цель работы:** Опытное подтверждение первого закона Кирхгофа для разветвленной магнитной цепи и овладение методикой расчета магнитных потоков.

#### Умения:

- производить расчеты простых электрических цепей;
- рассчитывать параметры различных электрических цепей и схем.

### **Знания (актуализация):**

- основные законы электротехники;
- характеристики и параметры электрических и магнитных полей, параметры различных электрических цепей.

### **Приборы и оборудование:**

1. Источник переменного напряжения 220 В, 50 Гц
2. Трехфазный трансформатор.
3. Вольтметр электромагнитной системы с  $U_{\text{ном}}=150$  В.

### **Теоретическое обоснование.**

*Магнитной цепью* называется совокупность устройств, содержащих ферромагнитные тела и образующих замкнутую цепь, в которой при наличии магнитодвижущей силы образуется магнитный поток и вдоль которой замыкаются линии магнитной индукции.

Примером являются сердечники трансформатора, магнитных усилителей, электрических машин и т.д.

Магнитодвижущую силу в электрических машинах создают обмотки с электрическим током или постоянные магниты. Часть магнитной цепи, по которой замыкается магнитный поток, изготавливают в основном из ферромагнитных материалов и называют *магнитопроводом*. Магнитные цепи выполняют неразветвленными и разветвленными. Различают также магнитные цепи однородные и неоднородные. Магнитопровод однородной цепи на всем его протяжении выполнен из одного материала и имеет одинаковое по форме и размерам поперечное сечение; в неоднородной цепи магнитопровод состоит из нескольких участков, отличающихся в общем случае по длине, поперечному сечению, материалам. На рисунке 1 представлена однородная разветвленная магнитная цепь.

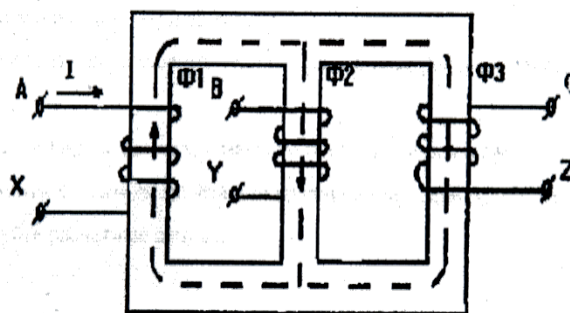


Рисунок 1 – Однородная разветвленная магнитная цепь.

Для расчетов магнитных цепей используют аналогии с электрическими цепями:

$\Phi$ , магнитный поток – электрический ток  $I$ ;

$R_M$ , магнитное сопротивление - электрическое сопротивление  $R$ ;

$U_M$ , магнитное напряжение - электрическое напряжение  $U$ ;

$F_M$ , магнитодвижущая сила - электродвижущая сила  $E$ .

В разветвленной магнитной цепи, по аналогии с электрической цепью, можно выделить контуры, ветви и отметить узлы. Можно составить узловые уравнения и сформулировать первый закон Кирхгофа для магнитной цепи. **Алгебраическая сумма магнитных потоков в узле магнитной цепи равна нулю  $\sum \Phi = 0$ .**

**Задание:** Собрать схему трехфазного трансформатора и осуществить замеры фазного напряжения на катушках.

### Порядок выполнения работы:

1. Подключите катушку AX трехфазного трансформатора к фазному напряжению  $U_{\phi} = 127 \text{ В}$  (рисунок 2).

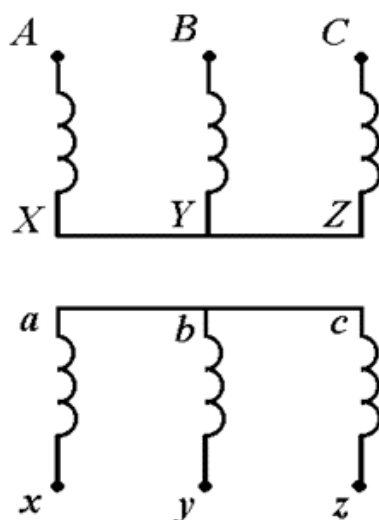


Рисунок 2 – Схема соединения обмоток трансформатора.

2. Включите источник напряжения и измерьте ЭДС остальных обмоток.

Данные измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты измерений.

№ П/П	Схема включения	$E_{AX}$	$E_{BY}$	$E_{CZ}$	$E_{ax}$	$E_{by}$	$E_{cz}$
1							
2							
3							

3. Повторите опыт для катушек BY, CZ, подключив их на соответствующие фазные напряжения.

4. Рассчитайте величины магнитных потоков. Данные расчетов занесите в таблицу 2.

Формула расчета амплитуды магнитного потока

$$\Phi_m = \frac{E}{4,44 \cdot f \cdot w_2}$$

где  $E$  – ЭДС вторичных обмоток  $E_{ax}$ ,  $E_{by}$ ,  $E_{cz}$

$f = 50$  Гц - частота напряжения сети;

$w_2 = 690$  - число витков вторичной обмотки.

Таблица 2 - Данные расчетов величин магнитных потоков.

№ п/п	$\Phi_{m1}$ Вб	$\Phi_{m2}$ , Вб	$\Phi_{m3}$ , Вб
1			
2			
3			

5. Определите направление магнитодвижущей силы и вычертите конфигурацию магнитного потока, составьте уравнения по первому закону Кирхгофа, используйте расчетные данные.

$$\Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_3 = 0$$

6. Сделайте вывод.

### Контрольные вопросы:

- 1) Дайте определение магнитной цепи.
- 2) Сколько участков содержит магнитная цепь трехфазного трансформатора?
- 3) Как изменится магнитодвижущая сила, если число витков катушки увеличить в 2 раза, а ток уменьшить в 2 раза?
- 4) Какими правилами пользуются для определения направления магнитодвижущей силы?

## Лабораторная работа № 3 Измерение энергии в однофазной цепи

**Цель работы:** Овладение методикой измерений электроэнергии прямым и косвенным методами и освоение алгоритма расчета приведенной погрешности счетчика.

### Умения:

- собирать простейшие электрические цепи;
- выбирать электроизмерительные приборы;
- определять параметры электрических цепей.

### Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электрических и магнитных цепях;

- построение электрических цепей, порядок расчета их параметров;
- способы включения электроизмерительных приборов и методы измерений электрических величин.

### **Приборы и оборудование:**

1. Однофазный счётчик - 1 шт.
2. Ламповый реостат - 1 шт.
3. Амперметр с  $I_H = 5 \text{ A}$  - 1 шт.
4. Вольтметр с  $U_H = 200 \text{ В}$  - 1 шт.
5. Секундомер - 1 шт.

### **Теоретическое обоснование**

#### **Индукционный счётчик электрической энергии.**

Индукционные счетчики служат для подсчёта количества электрической энергии, поступившей к потребителю за определённое время. Устройство индукционного счётчика показано на рисунке 1. Многовитковая обмотка электромагнит 2 (обмотка напряжения) подсоединена параллельно потребителю (нагрузке). Последовательно с нагрузкой включена обмотка электромагнита 1-3, состоящая из нескольких витков (токовая обмотка).

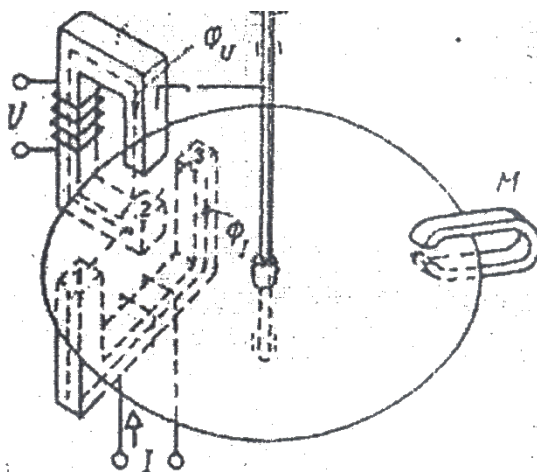


Рисунок 1 – Конструктивная схема индукционного счетчика

Поскольку индуктивность катушки пропорциональна квадрату числа витков, можно сказать, что индуктивность обмотки напряжения значительно больше



индуктивности токовой обмотки. Поэтому ток и совпадающий с ним по фазе магнитный поток электромагнита 2 отстают по фазе от тока и магнитного потока электромагнита 1-3 на угол, близкий к  $90^\circ$ .

Магнитное поле, образованное наложением магнитных полей двух электромагнитов, называется *бегущим*. Бегущее магнитное поле индуцирует в диске токи, которые, взаимодействуя с полем, создают механическую силу. Сила в соответствии с правилом Ленца стремится устранить причину, её вызывающую. Она раскручивает диск в направлении бегущего поля.

### Схемы включения однофазного счетчика.

Схема электрическая принципиальная включения однофазного счетчика представлена на рисунке 2.

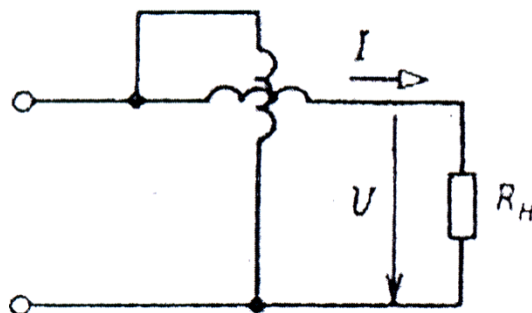


Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная

Практическая схема включения однофазного счетчика представлена на рисунке 3. Зажимы «Г» служат для подключения счетчика к электрической сети, к зажимам «Н» подключается нагрузка.

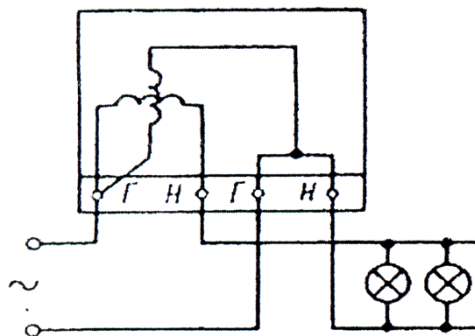


Рисунок 3 – Схема включения однофазного счетчика

### Порядок выполнения работы:

1. Собрать схему для исследования однофазного счетчика (рисунок 1), предъявить преподавателю для проверки.

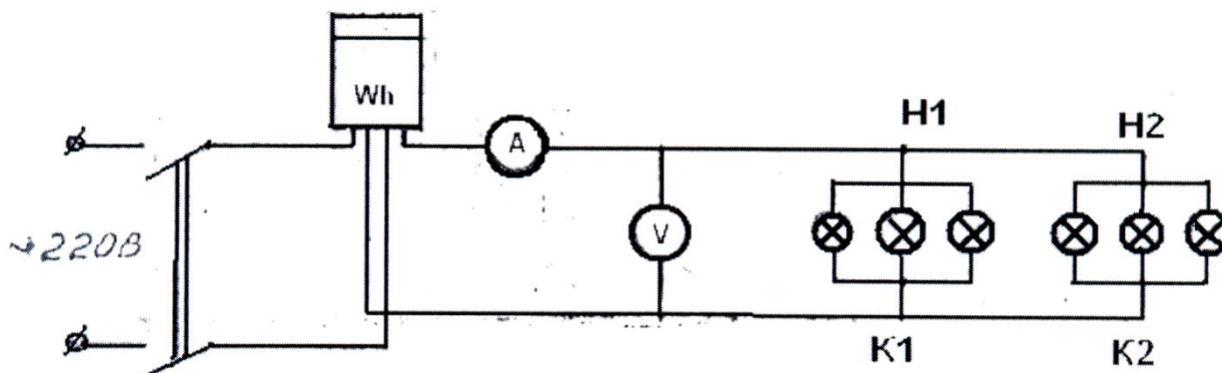


Рисунок 1 – Схема соединения однофазного счетчика

2. Включите сетевой выключатель, включите несколько ламп. Показания амперметра и вольтметра занесите в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений показаний приборов

№ опыта	Измерения				Вычисления				
	U	I	t	n	P	K	N	K <sub>n</sub>	γ
	В	А	с	обороты	Вт	---	Об/кВт·ч	---	%
1			120						
2									
3									

3. При зафиксированном токе нагрузки посчитайте количество оборотов диска счетчика  $n$  за 120 секунд, результаты счета занесите в таблицу 1.

4. Увеличьте число включенных ламп, повторите измерения по п. 4.2 и п. 4.3. Выключите сетевой выключатель.

5. Выполните вычисления параметров по формулам:

$P = U \cdot I$  - мощность потребителя, Вт.

Энергия, потребляемая цепью за время одного оборота диска счётчика

$$K = \frac{P \cdot t}{n}$$

где  $t$  - время, с;

$n$  - число оборотов диска счётчика за время  $t$ .

Номинальная постоянная счётчика  $K_n = \frac{3600 \cdot 1000}{N}$

где  $N$  - постоянная счётчика, число оборотов счетчика на 1 кВт · час энергии, указана на его щитке.

Приведенная погрешность  $\gamma = \frac{K - K_n}{K} \cdot 100\%$ .

Приведенная погрешность определяет класс точности прибора.

6. Сделать вывод.

## **6 Контрольные вопросы.**

6.1 Как называется обмотка (катушки) счетчика, если она включена параллельно нагрузке?

6.2 Как называется магнитное поле в индукционном счетчике при наличии которого вращается диск?

6.3 Назовите метод измерения энергии с использованием амперметра, вольтметра и секундомера?

6.4 Соответствует ли счетчик ГОСТу, если  $\gamma_{\text{расч}} = 3\%$ . На шкале счетчика указан класс точности 2,5.?

## **Лабораторная работа № 4**

### **«Исследование работы трёхфазной цепи при соединении потребителей энергии звездой»**

**Цель работы:** Опытное определение основных соотношений между токами и напряжениями при соединении потребителей звездой, выяснение роли нейтрального провода.

#### **Умения:**

- производить расчеты простых электрических цепей;
- рассчитывать параметры различных электрических цепей и схем;
- снимать показания и пользоваться электроизмерительными приборами и приспособлениями.

### **Знания (актуализация):**

- основные правила эксплуатации электрооборудования и методы измерения электрических величин;
- основные законы электротехники;
- устройство, принцип действия и основные характеристики электротехнических приборов.

### **Приборы и оборудование:**

- 1) Источник питания 220В 50 Гц.
- 2) Амперметры с  $I_{\text{ном}} = 3\text{А}$  -3 шт.
- 3) Амперметр с  $I_{\text{ном}} = 1\text{А}$  -1 шт.
- 4) Вольтметр с  $U_{\text{ном}} = 250\text{В}$  -1 шт.
- 5) Группы ламп накаливания - 3 шт.

### **Теоретическое обоснование.**

#### **Трёхфазная система.**

Трёхфазной системой электрических цепей называется совокупность трех электрических цепей, которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутые относительно друг друга на  $120^\circ$ .

Источниками электрической энергии в трёхфазных цепях являются трёхфазные генераторы или трансформаторы. В трёхфазной системе электрических цепей фазой называется одна из трех цепей. Для сокращения числа проводов используют связанные трехфазные системы. Для соединения звездой концы обмоток приемника X, Y, Z соединяют в общую точку, которую называют нулевой точкой или *нейтралью*. Концы обмоток приемника соединяют в общую точку N' – *нейтраль* нагрузки (см. рисунок 1). Провода, соединяющие начала A, B, C обмоток источника с приемником называются *линейными*.

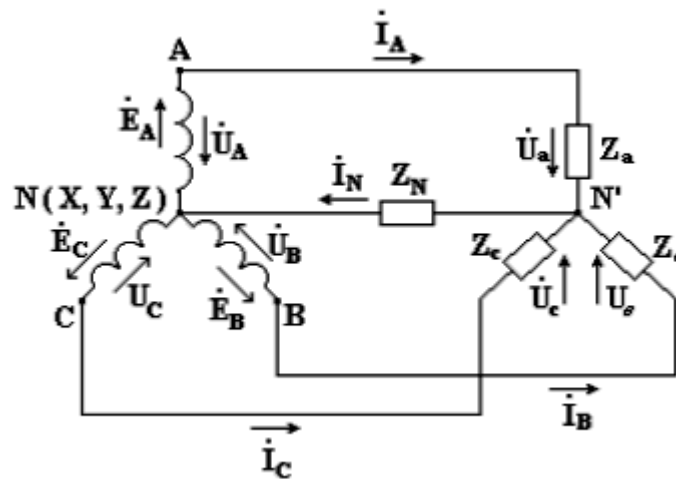


Рисунок 1 – Схема трехфазной цепи при соединении обмоток генератора и фаз потребителей звездой.

Провод, соединяющий нейтраль генератора N и нейтраль нагрузки N' называют *нейтральным*. Получается связанная четырехпроводная система электрических цепей.

### Параметры трехфазной цепи

*Линейный ток* - это ток, протекающий по линейным проводам ( $I_L$ ).

*Фазный ток* - ток, протекающий в фазе приемника или источника ( $I_\Phi$ ).

Для схемы звезда фазные и линейные токи одинаковы в каждой фазе:  $I_L = I_\Phi$

*Линейное напряжение* - это разность потенциалов между двумя линиями ( $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ ).

*Фазное напряжение* - это напряжение между началом и концом фазы или напряжение между линейным и нулевым проводом ( $U_A, U_B, U_C$ ).

Если считать потенциалы начал фаз генератора и нагрузки равными (т.е. падение напряжения в линейных проводах равно нулю). Линейное напряжение любой фазы представляет собой алгебраическую сумму фазных напряжений:

$$\vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B$$

$$\vec{U}_{BC} = \vec{U}_B - \vec{U}_C$$

$$\vec{U}_{CA} = \vec{U}_C - \vec{U}_A$$

Векторная диаграмма линейных и фазных напряжений представлена на рисунке 2.

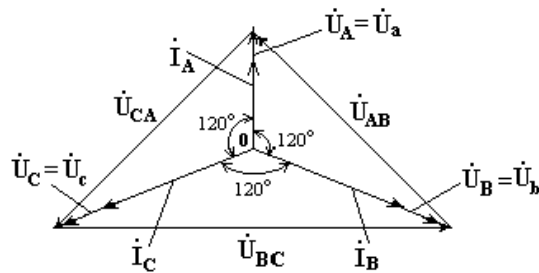


Рисунок 2 – Векторная диаграмма трехфазной цепи

Если сопротивления фаз одинаковы (нагрузка симметричная), то треугольники на диаграмме являются равнобедренными, откуда легко получить соотношение между напряжениями  $U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}$

Ток в нейтральном проводе равен алгебраической сумме фазных токов:

$\vec{I}_N = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C$  Векторная диаграмма представлена на рисунке 3.

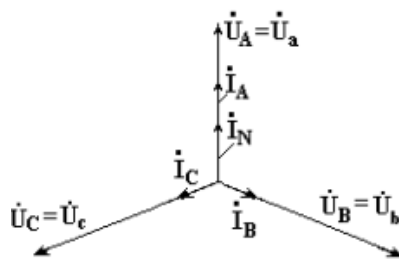


Рисунок 3 – Ток в нейтральном проводе  $\vec{I}_N$

**Задание:** Собрать схему трехфазной цепи и определить соотношения между токами и напряжением.

### Порядок выполнения работы

1. Соберите схему исследования трехфазной цепи, предъявите для проверки преподавателю (рисунок 4).

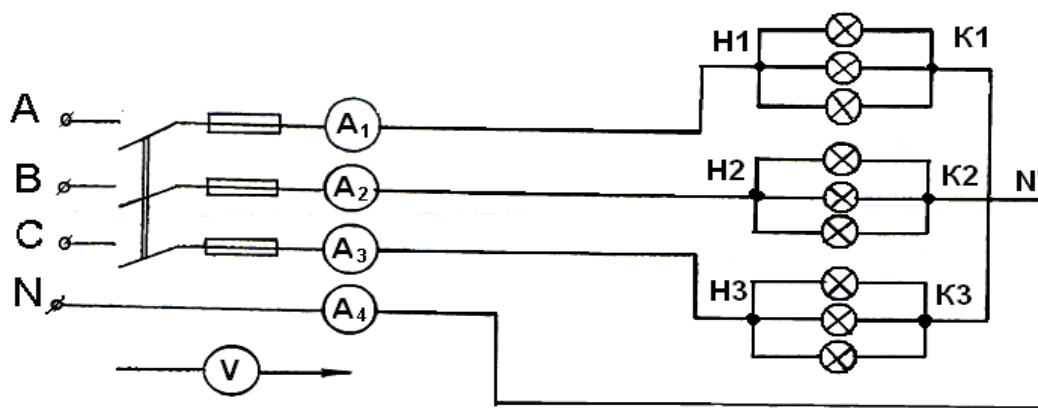


Рисунок 4 – Схема трехфазной цепи с нейтральным проводом

2. Проведите исследование цепи. Режим работы цепи: Равномерная нагрузка (симметричная нагрузка), нейтральный провод включен.

а) Установите равномерную нагрузку (включите одинаковое количество ламп в фазах нагрузки). Включите сетевой выключатель;

б) Измерьте токи фаз, ток в нейтральном проводе, фазные и линейные напряжения на нагрузке. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

в) Выключите сетевой выключатель.

3. Режим работы цепи: Неравномерная нагрузка, нейтральный провод включен.

а) Установите неравномерную нагрузку (разное количество ламп в фазах нагрузки). Включите сетевой выключатель.

б) Измерьте токи фаз, ток в нейтральном проводе, фазные и линейные напряжения на нагрузке. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

в) Выключите сетевой выключатель.

4. Режим работы цепи: Холостой ход фазы, нейтральный провод включен.

а) Установите неравномерную нагрузку, все лампы одной из фаз должны быть выключены, что означает холостой ток фазы (разное количество ламп в фазах нагрузки). Включите сетевой выключатель.

б) Измерьте токи фаз, ток в нейтральном проводе, фазные и линейные напряжения на нагрузке. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

в) Выключите сетевой выключатель.

5. Режим работы цепи: Равномерная нагрузка (симметричная нагрузка), нейтральный провод выключен.

а) Установите равномерную нагрузку (включите одинаковое количество ламп в фазах нагрузки). Включите сетевой выключатель;

б) Измерьте токи фаз, фазные и линейные напряжения на нагрузке. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

в) Выключите сетевой выключатель.

6. Режим работы цепи: Неравномерная нагрузка, нейтральный провод выключен.

а) Установите неравномерную нагрузку (разное количество ламп в фазах нагрузки). Включите сетевой выключатель.

б) Измерьте токи фаз, фазные и линейные напряжения на нагрузке. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

в) Выключите сетевой выключатель.

Таблица 1 – Результаты измерений нагрузки

№ опыта	Режим работы цепи		Измерения									
	Режим нейтрал	Режим нагрузки	I <sub>A</sub>	I <sub>B</sub>	I <sub>C</sub>	I <sub>N</sub>	U <sub>A</sub>	U <sub>B</sub>	U <sub>C</sub>	U <sub>AB</sub>	U <sub>BC</sub>	U <sub>CA</sub>
			A	A	A	A	B	B	B	B	B	B
1	Нейтральный провод включен	Равномерная										
2		Неравномерная										
3		Холостой ход фазы										
4	Нейтральный провод отключен	Равномерная				-						
5		Неравномерная				-						

7. По данным опытов 1,2,3 постройте векторную диаграмму расчета тока в нейтральном проводе на миллиметровой бумаге.

8. Оцените постоянство фазных напряжений по результатам опытов 2,3,5 и его зависимость от режима работы трехфазной цепи.



9. Вычислите отношение линейного и фазного напряжений по результатам измерений в измерении 1.

10. Сделайте выводы.

### **Контрольные вопросы.**

- 1) Как выполнить соединение фаз генератора и нагрузки звездой?
- 2) Название общего провода трех цепей четырехпроводной системы?
- 3) Что значит «холостой ход фазы»? При каких реальных условиях возникает такой режим работы?

## **Лабораторная работа № 5**

### **Исследование трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором**

**Цель работы:** Получение опытным путем рабочих характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

#### **Умения:**

- собирать простейшие электрические цепи;
- выбирать электроизмерительные приборы;
- определять параметры электрических цепей.

#### **Знания (актуализация):**

- сущность физических процессов, протекающих в электрических и магнитных цепях;
- построение электрических цепей, порядок расчета их параметров;
- способы включения электроизмерительных приборов и методы измерений электрических величин.

#### **Приборы и оборудование:**

Стенд «Электрические машины», двигатель М2.

#### **Теоретическое обоснование**

**Конструкция асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.**

Трехфазный асинхронный двигатель состоит из двух основных частей: статора и ротора. Статор - неподвижная часть двигателя, служит для создания вращающегося магнитного поля. Он состоит из корпуса (станины), сердечника и обмотки. Схема соединения трехфазной статорной обмотки - звезда или треугольник. Корпус литой, стальной и чугунный. Сердечник собирается из тонких листов электротехнической стали. Собранные листы стали образуют пакет статора, который запрессовывается в корпус статора. На внутренней стороне сердечника образованы пазы, в которые уложена обмотка статора.

Ротор состоит из стального вала, на который напрессован сердечник, выполненный, как и сердечник статора, из отдельных листов электротехнической стали с выштампованными в них пазами. Короткозамкнутая обмотка (беличье колесо) представляет собой ряд металлических стержней (алюминиевых или медных), расположенных в пазах сердечника, замкнутых с двух сторон кольцами.

Вал ротора вращается в подшипниках качения. Расположенных в подшипниковых щитах. Охлаждение двигателя осуществляется методом поверхности корпуса центробежным вентилятором.

### **Принцип действия.**

Магнитное поле статора пересекает проводники обмотки ротора и наводит в них переменную э.д.с. Поскольку обмотка ротора замкнута, эта э.д.с. вызывает в ней ток того же направления, что и э.д.с. В результате взаимодействия тока ротора с вращающимся магнитным полем возникает электромагнитная сила, действующая на проводники ротора. Сила создает вращающий момент, действующий в ту же сторону, что и сила.

Под действием момента вращения ротор приходит в движение и после разбега вращается в том же направлении, что и магнитное поле с несколько меньшей частотой вращения, чем поле:  $n_2 = (0,92 \dots 0,98)n_1$ ,

где  $n_1$  - частота вращения магнитного поля статора, или синхронная частота вращения;

$n_2$  - частота вращения ротора.

Синхронная частота вращения определяется частотой тока ( $f_1$ ) источника питания двигателя и числом пар полюсов статора ( $p$ ): 
$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \text{ (мин}^{-1}\text{)}$$

Частота вращения ротора определяется скольжением:

$$n_2 = n_1(1 - S),$$

где  $S$  - скольжение: 
$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

### Характеристики двигателя.

Рабочие характеристики асинхронного двигателя.

Рабочие характеристики представляют собой графические зависимости параметров двигателя от мощности на валу:  $n = f(P_2)$ ;  $M = f(P_2)$ ;  $\cos \varphi_1 = f(P_2)$ ;  $\eta = f(P_2)$ .

**Задание :** Собрать электрическую схему опыта согласно рисунку 1.

### Порядок выполнения работы:

#### Холостой ход.

1) Включите стенд тумблером «Сеть» S1, схему лабораторной установки тумблером S2, асинхронный двигатель кнопкой S4.

2) Генератор постоянного тока M1 не включать (перемычки П1 и П2 отсутствуют, регулятор ЛАТРа 11.1 в положение «О» тумблер S6 отключен

В этом режиме измеряются следующие параметры двигателя:

- мощность холостого хода;
- ток холостого хода;
- напряжение статора.

Параметры занести в таблицу 1.

Таблица 1 – параметры двигателя

$U_\Phi$ , В	$I_\Phi$ , А	$P_H$ , Вт



3)Тумблером S6 включите ЛАТР Т1.1 и установите его регулятор в положение «50» и изменяйте нагрузку генератора резистором R1 (положения 1-6) и при необходимости получить  $R1 = 0$  установить перемычку П2 . Изменяя положение регулятора ЛАТРа Т1.1 можно увеличивать нагрузку на асинхронный двигатель, при проскальзывании пассива по шкивам уменьшить напряжение ЛАТРа. Данные измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Показания измерений

Измерения						Вычисления					
Двигатель				Генератор							
U <sub>дв</sub>	I <sub>дв</sub>	P <sub>ф</sub>	n <sub>2</sub>	U <sub>г</sub>	I <sub>г</sub>	P <sub>2</sub>	M	s	η <sub>дв</sub>	η <sub>г</sub>	cosφ
В	А	Вт	мин <sup>-1</sup>	В	А	Вт	Нм	-	-	-	-

4)Выполнить расчеты.

5) Построить графики характеристик.

6) Сделать вывод.

#### 4. Контрольные вопросы.

1)Почему в момент пуска ток статора наибольший?

2) Каковы способы снижения пускового тока?

3) От каких параметров зависит момент вращения двигателя?

4) Как изменится вращающий момент двигателя, если напряжение в сети снизится на 10%?

### Лабораторная работа № 6

#### «Исследование схемы релейно-контактного управления трехфазным асинхронным двигателем»

**Цель работы:** Освоение алгоритма дистанционного управления трехфазным асинхронным двигателем.

**Умения:**

- производить расчеты простых электрических цепей;
- рассчитывать параметры различных электрических цепей и схем;
- снимать показания и пользоваться электроизмерительными приборами и приспособлениями.
- правильно эксплуатировать электрооборудование и механизмы передачи движения технологических машин и аппаратов.

**Знания (актуализация):**

- устройство, принцип действия и основные характеристики электротехнических приборов;
- основные правила эксплуатации электрооборудования и методы измерения электрических величин;

**Приборы и оборудование:**

- 1) Источник питания - трехфазная сеть 220 В, 50 Гц
- 2) Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором – АОЛ-22-4 220/380 В 50 Гц ;  $P_n = 400$  Вт;  $n = 1400$  об/мин
- 3) Магнитный пускатель
- 4) Пост управления - ПKE - 222 - 2У2
- 5) Амперметр тока - 5 А.

**Теоретическое обоснование****Аппаратура коммутации и управления.**

Автоматическое управление электродвигателями и другими приемниками электрической энергии осуществляют путем применения в электрических цепях различных аппаратов, при помощи которых осуществляют пуск, регулирование частоты его вращения, торможение , остановку двигателей, а также их защиту от перегрузок и коротких замыканий. Наибольшее применение среди подобного рода устройств получили контакторы, реле, магнитные пускатели, путевые и концевые выключатели, кнопки, предохранители и т.п.

Управлять трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором можно при помощи магнитного пускателя. Магнитные пускатели представляют собой совокупность контактора и тепловых реле, установленных на одной панели.

### **Контакторы.**

Контактором называют коммутационный электромагнитный аппарат, у которого вручную производят переключение в цепи управления, а переключение в главной цепи происходит автоматически. Контакторы предназначены для частых включений и отключений электроустановки под нагрузкой (до 1500 включений и отключений в час). Устройство электромагнитного контактора представлено на рисунке 1.

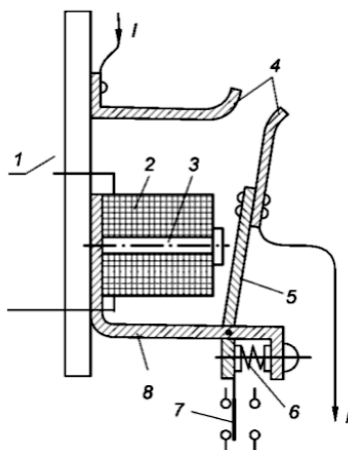


Рисунок 1 – Электромагнитный контактор.

При замыкании кнопки управления 1 в цепи управления, т.е. катушке 2, возникает ток, который создает в сердечнике 3 магнитный поток и электромагнитная сила притягивает якорь 5 к сердечнику 3. Магнитный поток замыкается по магнитопроводу, состоящему из сердечника 3, якоря 5 и скобы 8. Когда якорь притянут к сердечнику, замыкаются главные контакты 4, через которые запитывается обмотка статора. Одновременно происходит переключение блок – контактов. Число блок - контактов может быть различным. Их включают в цепь управления данного контактора или другого аппарата. На электрических схемах контакторы обозначаются в исходном обесточенном состоянии согласно ГОСТ 2.755 (таблица 1).

## Реле

Реле – это аппараты, которые производят автоматическое переключение контактов в цепи управления другого аппарата.

Тепловые реле предназначены для защиты обмоток двигателя от длительных перегрузок на 10-20%. Конструктивная схема теплового реле с биметаллической пластиной представлена на рисунке 2.

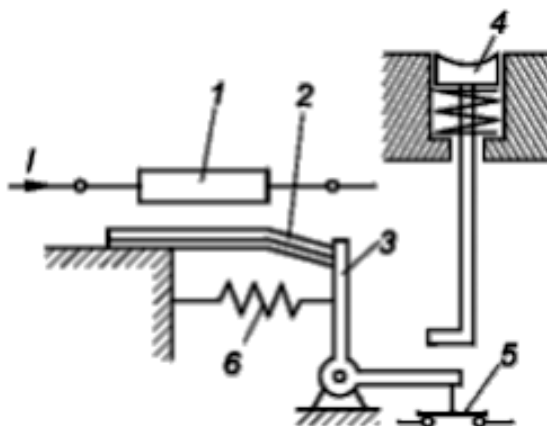


Рисунок 2 – Тепловое реле

Нагревательный элемент 1 включают последовательно с электрической цепью, которую надо защищать. Нагревательный элемент нагревает расположенную рядом биметаллическую пластину 2. Биметаллическая пластина выполнена из двух слоев металлов с разными коэффициентами расширения, поэтому при нагревании она выпрямляется, и рычаг 3 освобождается. Под действием пружины 6 рычаг поворачивается и размыкает контакты 5 в цепи управления.



Таблица 1 – Графическое обозначение контактов

Наименование элемента		Обозначение
Контакт коммутирующего устройства (общее обозначение)	закрывающий	
	размыкающий	
	переключающий	
Выключатель	однополюсный	
	трехполюсный	
Переключатель	однополюсный	
	трехполюсный	
	двухполюсный трехпозиционный с нейтральным положением	
Разъединитель		
Выключатель нагрузки		
Выключатель автоматический		
Кнопки управления	с замыкающим контактом	
	с размыкающим контактом	
Контакт главной цепи контактора, магнитного пускателя	закрывающий	
	размыкающий	
	закрывающий дугогасительный	
	размыкающий дугогасительный	
Контакт теплового реле без самовозврата (с возвратом нажатием кнопки)		
Контакт замыкающий с выдержкой времени	при замыкании	
	при размыкании	

**Задание:** Выполнить схему сборки дистанционного управления трехфазным асинхронным двигателем.

**Порядок выполнения работы:**

1. Собрать схему электродвигателя (рисунок 3). Предъявить схему для проверки преподавателю.
2. Включить сеть выключателем QF.
3. Включить двигатель с помощью кнопки SB2. Убедится в том, что после отпускания кнопки двигатель продолжает работать. Проследить за срабатыванием магнитного пускателя.
4. Отключить двигатель с помощью кнопки SB1. Проследить за работой магнитного пускателя
5. Отключить блок - контакт КМ. Включить двигатель с помощью кнопки SB2. Проследить за работой схемы. Подключить блок - контакт КМ.
6. Произвести реверс двигателя, поменяв местами два любых линейных провода
7. Нагружая двигатель тормозом, добиться его отключения тепловым реле. Вновь запустить двигатель, устранив перегрузку.
8. Выключить сетевое питание.
9. Сделайте выводы.

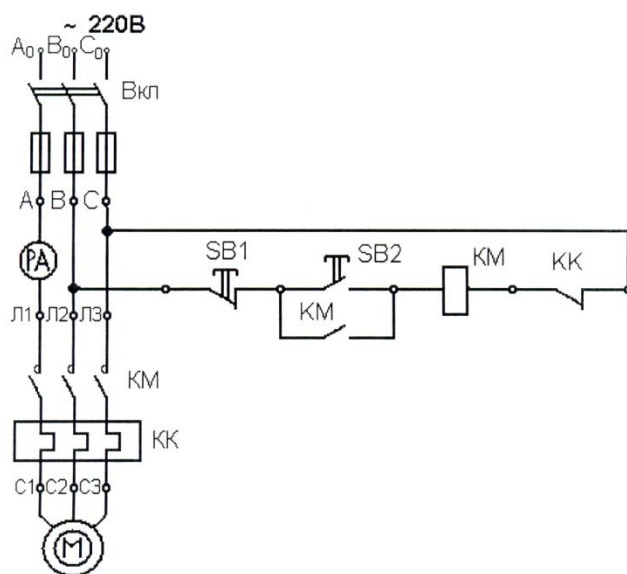


Рисунок 3 – схема включения двигателя

### **Контрольные вопросы**

- 1) Объясните принцип работы магнитного пускателя.
- 2) Каково назначение блок - контактов магнитного пускателя?
- 3) Можно ли использовать тепловое реле для защиты потребителя при коротких замыканиях?

### **Лабораторная работа №7**

#### **Исследование полупроводникового диода**

**Цель работы:** Освоение методов снятия вольт – амперной характеристики диода и алгоритма расчета сопротивлений при прямом и обратном включении.

#### **Умения:**

- собирать простейшие электрические цепи;
- выбирать электроизмерительные приборы;
- определять параметры электрических цепей;
- пользоваться электронными приборами и оборудованием.

#### **Знания (актуализация):**

- принцип работы и характеристики электронных приборов;
- сущность физических процессов, протекающих в электрических и магнитных цепях;
- построение электрических цепей, порядок расчета их параметров;
- способы включения электроизмерительных приборов и методы измерений электрических величин.

#### **Приборы и оборудование.**

1. Лабораторный стенд «Промэлектроника», блок №1, схемы А1 и А2;
2. Прибор электроизмерительный многофункциональный Ц4317.3.
3. Соединительные провода.

## Теоретическое обоснование

**Полупроводниковым диодом** называется прибор с двумя выводами, содержащий один электронно-дырочный переход.

Работа полупроводникового выпрямительного диода основана на свойстве *p-n*-перехода пропускать ток только в одном направлении. Основной характеристикой полупроводниковых диодов является вольт - амперная характеристика (ВАХ)- зависимость тока через диод от приложенного напряжения.

### Прямое включение диода.

Приложенное напряжение называется *прямым*, если плюс источника подключается к полупроводнику *p* – типа (аноду), а минус к полупроводнику *n* – типа (катоде). При прямом включении ток потечет только тогда, когда напряжение прямого включения  $U_{пр}$  превысит потенциальный барьер. Высота потенциального барьера зависит от типа полупроводника: 0,3 В для германиевых и 0,6 В для кремниевых полупроводников.

### Обратное включение диода.

Приложенное напряжение называется *обратным*, если минус источника подключается к полупроводнику *p* – типа (аноду), а плюс к полупроводнику *n* – типа (катоде). При обратном включении потенциальный барьер для основных носителей зарядов увеличивается, поэтому они не могут его преодолеть. Практически обратный ток обусловлен дрейфом неосновных носителей зарядов (током дрейфа), поэтому является незначительным.

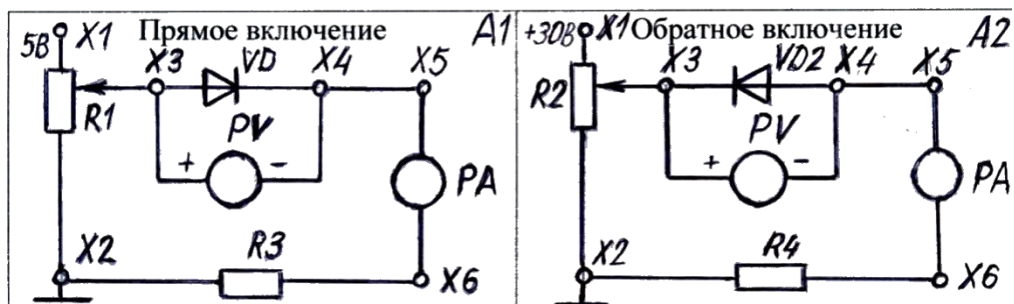


Рисунок 1. – Прямое и обратное включение диодов

### Вольт - амперная характеристика.

Для сравнения на рисунке 2.1 приведены типовые ВАХ германиевого и кремниевого диодов. Кремниевые диоды имеют во много раз меньшие обратные токи при одинаковом напряжении, чем германиевые. Допустимое обратное напряжение кремниевых диодов может достигать 1000-1500 В, в то время как у германиевых оно лежит в пределах 100-400 В. Кремниевые диоды могут работать при температурах от  $-60$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ , а германиевые - от  $-60$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ . Это обусловлено тем, что при температурах выше  $85^{\circ}\text{C}$  резко увеличивается собственная проводимость германия, приводящая к недопустимому возрастанию обратного тока. Вместе с тем прямое падение напряжения у кремниевых диодов больше, чем у германиевых. Это объясняется, что у германиевых диодов можно получить величину сопротивления в прямом направлении в 1,5-2 раза меньшую, чем у кремниевых, при одинаковом токе нагрузки. Поэтому мощность, рассеиваемая внутри германиевого диода, оказывается во столько же раз меньше. В связи с этим в выпрямительных устройствах низких напряжений выгоднее применять германиевые диоды.

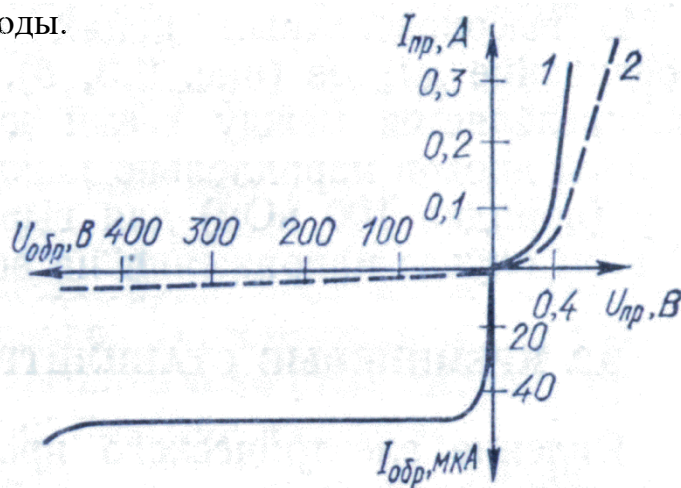


Рисунок 2. - Сравнительные ВАХ характеристики германиевого (1) и кремниевого (2) диодов.

**Задание 1:** Снять показания прямой ветви ВАХ диода.

### Порядок выполнения работы

1. Включить стенд в сеть, поставив сетевой тумблер в положение ВКЛ.
2. На одном из источников питания лабораторного стенда (V1 или V2) с помощью ручки выставить напряжение 5В, измерив его мультиметром на пределе измерений 20В.
3. Выключить сетевой тумблер .
4. Ручку потенциометра R1 повернуть против часовой стрелки до упора.
5. Подать питание на исследуемую схему: «+» на X1, «-» на X2.
6. Подключить измерительные приборы с указанными пределами измерения согласно мнемосхемы, соблюдая указанную полярность.
7. После проверки схемы преподавателем включить сетевой тумблер.
8. Поворачивая ручку потенциометра R1 по часовой стрелке, измерять прямое напряжение диода в пределах, указанных в таблице 1, фиксируя значения тока через каждые 0,1 В. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений

U <sub>пр</sub> , В	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
I <sub>пр</sub> , мА						

9. Выключить сетевой тумблер.

**Задание 2:** Снять показания обратной ветви ВАХ диода.

### Порядок выполнения работы

1. На обоих источниках питания лабораторного стенда «Промэлектроника» V1 и V2 выставить максимальные напряжения питания 15 В, повернув ручки по часовой стрелке до упора. Соединить источники последовательно , установив напряжение блока 30 В.
2. Подать напряжение питания на исследуемую схему: «+» от источника V2 на клемму X1, «-» от источника V1 на клемму X2.
3. Ручку потенциометра R2 повернуть против часовой стрелки до упора.
4. Подключить измерительные приборы с указанными пределами измерений согласно мнемосхемы, соблюдая указанную полярность.

5. После проверки преподавателем включить стенд в сеть.

6. Поворачивая ручку потенциометра R2 по часовой стрелке, изменять обратное напряжение на диоде в пределах, указанных в таблице 2. Значения обратного тока необходимо фиксировать каждые 5 В, результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений

U <sub>обр</sub> , В	0	5	10	15	20	25
I <sub>обр</sub> , мкА						

7. Выключить сетевой тумблер.

8. По данным таблиц 1 и 2 построить ВАХ диода.

9. Выполнить расчеты сопротивлений R<sub>пр</sub> и R<sub>обр</sub>.

10. Сделать вывод.

### Контрольные вопросы.

1. Название величин потенциальных барьеров германиевого и кремниевого и полупроводниковых диодов?

2. Как выполнить прямое включение диода?

3. Как выполнить обратное включение диода?

4. Почему при обратном включении диода ток через него намного меньше, чем при прямом включении?

## Лабораторная работа № 8

### Исследование работы однофазного выпрямителя

**Цель работы:** Освоение методов измерений и алгоритма расчета качественных характеристик выпрямленного напряжения при использовании разных типов фильтров.

#### Умения:

- собирать простейшие электрические цепи;
- выбирать электроизмерительные приборы;
- определять параметры электрических цепей;

- пользоваться электронными приборами и оборудованием.

### **Знания (актуализация):**

- принцип работы и характеристики электронных приборов;
- сущность физических процессов, протекающих в электрических и магнитных цепях;
- построение электрических цепей, порядок расчета их параметров;
- способы включения электроизмерительных приборов и методы измерений электрических величин.

### **Приборы и оборудование:**

1. Лабораторный стенд «Промэлектроника», блок №8.
2. Осциллограф С1-159.
3. Соединительные провода.

### **Теоретическое обоснование**

#### **Основные понятия о сглаживающих фильтрах.**

При рассмотрении схем выпрямителей было установлено, что выпрямленное напряжение всегда является пульсирующим и содержит кроме постоянной переменные составляющие. В большинстве случаев питание схем промышленной электроники пульсирующим напряжением неприемлемо. Допустимые значения коэффициента пульсации зависят от назначения и режима работы устройства; их выбирают в пределах 0,001 - 2,5%. Поскольку в любой схеме выпрямителя коэффициент пульсаций входного напряжения во много раз превышает эти пределы, на выходе выпрямителей включают сглаживающие фильтры.

К схемам сглаживающих фильтров предъявляют следующие основные требования:

1) Фильтр должен быть построен таким образом, чтобы с одной стороны, максимально уменьшились переменные составляющие, а с другой не происходило существенного уменьшения постоянной составляющей, которая проходит через фильтр. Поэтому обычно схемы сглаживающих фильтров



содержат реактивные составляющие (индуктивности и ёмкости) и лишь при очень малых мощностях нагрузки могут содержать и активные сопротивления.

2) При переходных процессах в фильтре во время включения напряжения сети или нагрузки величины бросков напряжения и тока должны находиться в допустимых пределах.

3) Собственная частота фильтра должна быть ниже частоты основной гармоники выпрямленного напряжения во избежание резонансных явлений в отдельных звеньях фильтра.

Основным параметром позволяющим дать количественную оценку сглаживающего фильтра, является коэффициент сглаживания, который равен отношению коэффициента пульсации на входе фильтра к коэффициенту пульсации на выходе фильтра:

$$K_{Cz} = \frac{K_{n.вх}}{K_{n.вых}}$$

### **Фильтры с пассивными элементами.**

Роль простейших сглаживающих фильтров могут играть индуктивные катушки, включённые последовательно с нагрузкой, и конденсаторы, включённые параллельно нагрузке (рисунок 1).

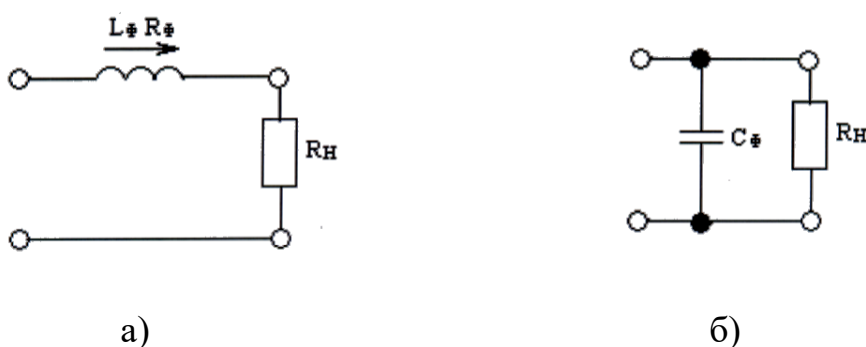


Рисунок 1 – Простейшие фильтры: а) индуктивный; б) емкостный.

При использовании индуктивных катушек высокий коэффициент сглаживания может быть достигнут при условии, что индуктивное сопротивление цепи значительно превышает её активное сопротивление:

$$X_L = \omega \cdot L \gg R_H$$

где  $\omega$  - частота основной гармоники выпрямленного напряжения.

В этом случае основное падение напряжения переменных составляющих происходит не на сопротивлении нагрузки, а на индуктивности фильтра (дросселя) обычно невелико, напряжения постоянной составляющей выпрямленного тока на входе фильтра и на нагрузке практически равны.

Индуктивный фильтр имеет простую схему и обеспечивает малые потери мощности и малое изменение выходного напряжения при изменении сопротивления нагрузки. Однако при быстром уменьшении тока нагрузки на зажимах дросселя возникают кратковременные броски напряжения, которые могут достигать существенного значения.

Поскольку индуктивные фильтры обеспечивают лучшее сглаживание пульсации при малых сопротивлениях нагрузки, их применяют главным образом в мощных выпрямителях. При включении конденсатора параллельно нагрузке для лучшего сглаживания пульсаций ёмкостное сопротивление должно быть значительно меньше активного сопротивления:

$$X_C = \frac{1}{\omega_C} \ll R_H$$

В этом случае конденсатор заряжается через диод выпрямителя до амплитудного значения напряжения на выходе фильтра в те моменты времени, когда напряжение на выходе фильтра превышает напряжение на конденсаторе.

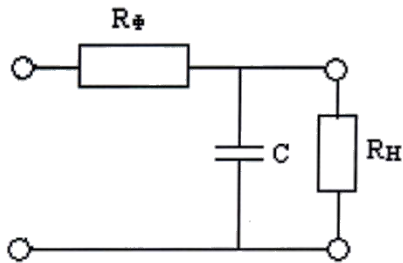
В остальное время конденсатор разряжается на нагрузку. Значение ёмкости выбирают таким образом, чтобы за период колебаний напряжения на выходе фильтра напряжение на конденсаторе существенно не изменилось.

### **Комбинированные фильтры.**

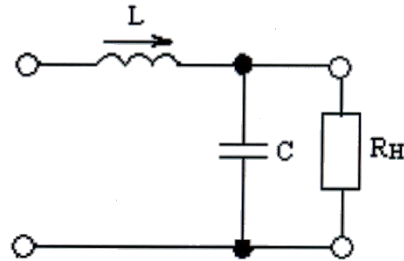
Для получения более высокого коэффициента сглаживания применяют **комбинированные фильтры**, которые обозначают по конфигурации соединения элементов фильтра:

- Г - образные RC (Рисунок 2а);

- Г - образные LC (Рисунок 2б);
- П - образные RC (Рисунок 3а);
- П - образные RL (Рисунок 3б).

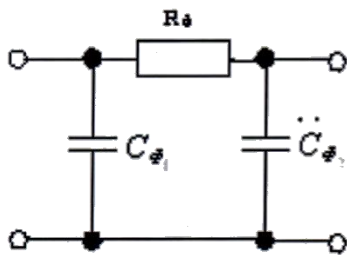


а)

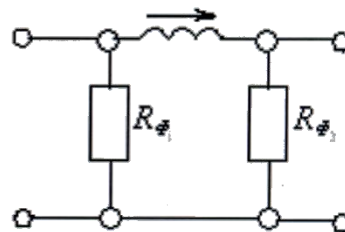


б)

Рисунок 2 – Г – образные фильтры: а) RC – фильтр; б) LC – фильтр.



а)



б)

Рисунок 3 – П –образные фильтры: а) RC – фильтр; б) RL – фильтр.

Широкое применение на практике находят Г - образные индуктивно-ёмкостные фильтры, которые представляют собой сочетание двух простейших фильтров: индуктивного и ёмкостного.

При выполнении условия  $X_C \ll R_H \ll X_L$  такие фильтры обеспечивают значительно более высокий коэффициент сглаживания пульсаций, чем фильтры из одной индуктивности или ёмкости.

Выбор конкретных значений индуктивности и ёмкости представляет в данном случае не математическую, а техническую задачу. Обычно её решают с учётом дополнительных условий, к которым относятся габаритные размеры,

масса и стоимость фильтра, а так же величина допустимого броска тока при включении. Более эффективными являются П -образные фильтры.

Лучший результат сглаживания получают с помощью **многозвенных фильтров**, состоящих из нескольких последовательно включённых Г -образных или П - образных фильтров.

Общий коэффициент сглаживания многозвенного фильтра равен произведению всех коэффициентов сглаживания отдельных звеньев:

$$K_{сг} = K_{сг1} K_{сг2} \cdots K_{сгn}$$

Среди перечисленных требований, предъявляемых к сглаживающим фильтрам, отмечалась необходимость ограничения собственной частоты фильтра  $\omega_0$  условием  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \leq \frac{\omega}{2}$  , откуда  $CL \geq \frac{4}{\omega^2}$

**Задание:** Подключить схемы согласно рисунку 1

№ опыта	Схема	Осциллограмма	$U_d$	$U_n$	$K_n$	$K_{сгл}$
			В	В	—	—
1						
2						
3						
4						
5						

Рисунок 1. – Схемы подключений

### **Порядок выполнения работы.**

1. Включите стенд в сеть.
2. Количество опытов соответствует количеству схем.
3. Соедините проводами элементы схемы, соответствующие данному опыту. Подключите к выходу схемы осциллограф и вольтметр.
4. В выбранном масштабе разверток изобразите осциллограммы выпрямленных напряжений, определите амплитуду переменной составляющей выпрямленного напряжения. Данные занесите в таблицу.
5. По вольтметру определите величину среднего выпрямленного напряжения  $U_d$ . Результат занесите в таблицу.
6. Вычислите коэффициенты пульсаций  $K_p$  и сглаживания  $K_{сгл}$  для каждого фильтра.
7. Сделайте вывод о качестве выпрямленного напряжения.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1) После какого типа фильтра пульсация максимальна?
- 2) Какие типы фильтров можно применять только в маломощных выпрямителях?
- 3) Назовите фильтры, применявшиеся в работе?

### **Лабораторная работа № 9**

#### **Исследование формы выходного напряжения электронных генераторов**

**Цель работы:** Овладение методикой снятия осциллограмм последовательностей выходных импульсов электронных генераторов и определение их параметров.

#### **Умения:**

- правильно эксплуатировать электрооборудование и механизмы передачи движения технологических машин и аппаратов;
- рассчитывать параметры различных электрических цепей и схем;

- снимать показания и пользоваться электроизмерительными приборами и приспособлениями.

### **Знания (актуализация):**

- классификация электронных приборов, их устройство и область применения;
- устройство, принцип действия и основные характеристики электротехнических приборов;
- основные правила эксплуатации электрооборудования и методы измерения электрических величин;
- принцип выбора электрических и электронных приборов.

### **Приборы и оборудование:**

- 1) Осциллограф С 1 -59
- 2) Генератор функциональный Г6-43.

### **Теоретическое обоснование**

#### **Виды импульсов.**

Под *импульсом* понимают кратковременное отклонение напряжения или тока от некоторого постоянного уровня, в частности от нулевого.

Наиболее распространенными являются прямоугольная, трапецеидальная и треугольная формы (рисунок 1).

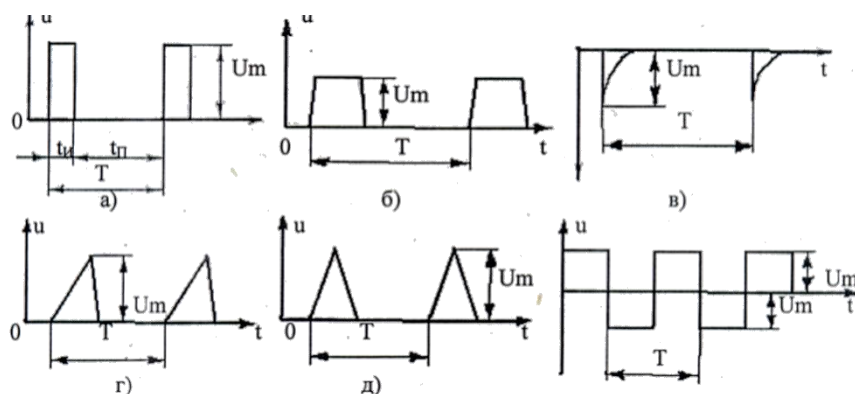


Рисунок 1 – Виды импульсных сигналов

Реальные импульсы не имеют формы, строго соответствующей названию. Например, прямоугольные импульсы имеют форму, близкую к трапецеидальной, а треугольные — к экспоненциальной. Различают импульсы

положительной (рисунок 1 - а, б, г, д) и отрицательные полярности (рисунок 1 - в), а также двухсторонние (разнополярные) импульсы (рисунок 1 - е). В электронной технике наиболее часто используется прямоугольные импульсы.

### **Параметры последовательности импульсов.**

*Период и частота повторения импульсов.* Промежуток времени  $T$  между началом двух соседних однополярных импульсов (см. рисунок 1) называют *периодом* повторения (следования) импульсов. Он выражается в единицах времени: секундах (с), миллисекундах (мс) и микросекундах (мкс). Величину, обратную периоду повторения, называют *частотой повторения* (следования)  $f$  импульсов. Она определяет количество периодов в течение 1 с и выражается в герцах (Гц), килогерцах (кГц) и т.д.

### **Виды электронных генераторов.**

Электронный генератор - это устройство, преобразующее электрическую энергию источника постоянного тока в энергию незатухающих электрических колебаний заданной формы и частоты. Электронный генератор широко используют в радиоаппаратуре, измерительной технике, устройствах автоматике, электронно-вычислительных машинах и т.д.

### **Классификация по способу возбуждения колебаний.**

По способу возбуждения генераторы подразделяют на генераторы с независимым возбуждением и генераторы с самовозбуждением (автогенераторы). Генераторы с независимым возбуждением являются усилителями колебаний, которые вырабатывают посторонние источники. Автогенераторы сами создают незатухающие колебания за счет использования положительной обратной связи.

### **Мультивибратор.**

Мультивибратор представляет собой генератор колебаний, близких по форме к прямоугольным. Мультивибратор широко используют в импульсной технике, в ЭВМ и устройствах автоматике в качестве пусковых или переключающих устройств.

Автоколебательный мультивибратор, собранный по основной схеме (рисунок 2), представляет собой двухкаскадный резистивный усилитель на транзисторных ключах-инверторах, соединенных перекрестными обратными связями. При подключении мультивибратора к источнику питания начинается генерация колебаний: на коллекторах транзисторов формируются импульсы, по форме близкие к прямоугольным.

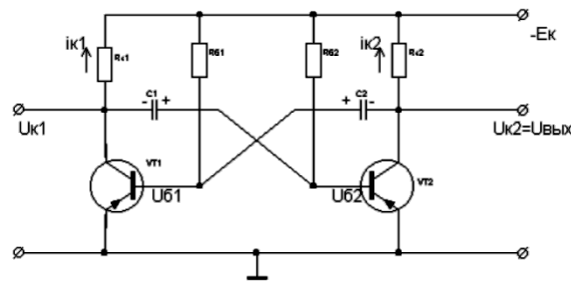


Рисунок 2 – Схема автоколебательного мультивибратора;

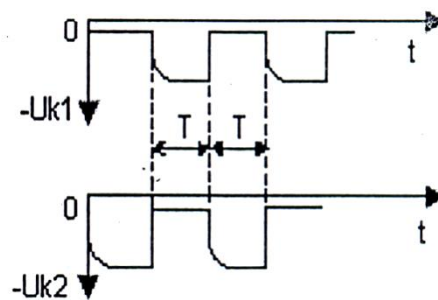


Рисунок 3 – временные диаграммы напряжений на коллекторах транзисторов.

### LC- автогенератор.

Схема транзисторного автогенератора типа LC приведена на рисунке 4.

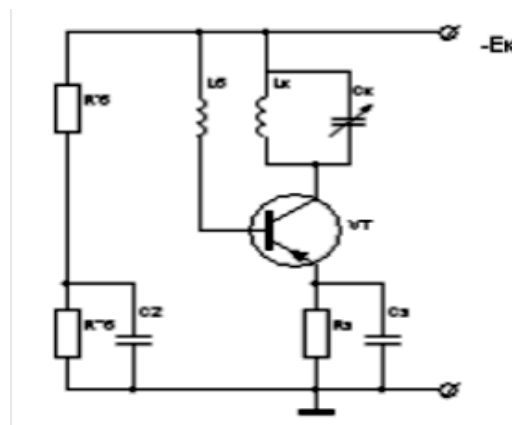




Рисунок 4 – Транзисторный автогенератор с индуктивной связью.

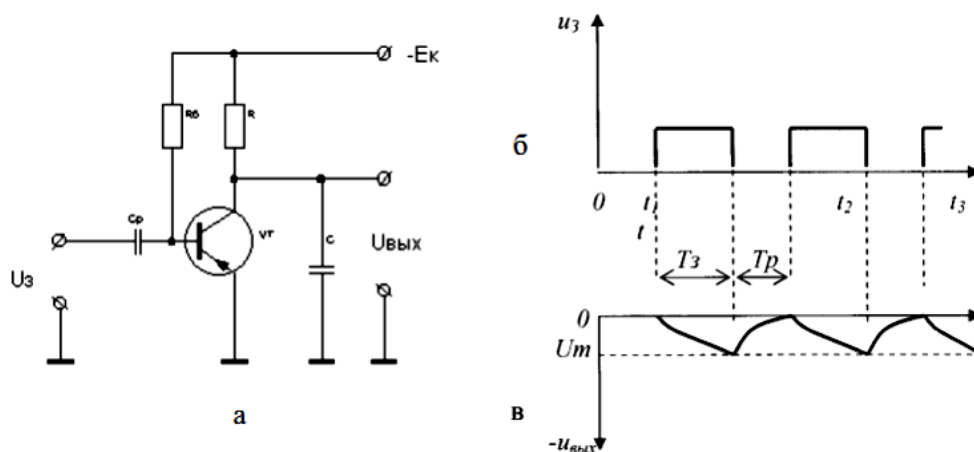
Конденсатор  $C_k$  и катушка индуктивности  $L_k$  образуют параллельный колебательный контур. При подключении к источнику питания  $E_k$  конденсатор  $C_k$  колебательного контура заряжается, после чего в контуре возникают незатухающие электрические колебания с частотой  $f_0$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C_k}}.$$

На коллекторе выходного транзистора формируются синусоидальные колебания. Колебания являются незатухающими благодаря положительной обратной связи, передающей часть выходного сигнала на вход усилителя. При этом должны соблюдаться два условия: баланс амплитуд и баланс фаз.

### Генераторы пилообразного напряжения.

Генератор пилообразного напряжения представляет собой однокаскадный усилитель, преобразующий энергию прямоугольных колебаний в энергию пилообразных колебаний той же частоты (рисунок 5).



- а) схема генератора пилообразного напряжения;
- б) временные диаграммы запирающих импульсов;
- в) выходные импульсы

Рисунок 4 – Схема генератора

Выходное напряжение снимается с конденсатора, включенного параллельно транзистору. При поступлении положительного импульса,

запирающего транзистор, конденсатор заряжается до напряжения  $U_m \leq E_k$ . По окончании импульса транзистор открывается и конденсатор разряжается на нагрузку.

**Задание:** Опытным путем произвести снятие осциллограмм выходных импульсов электронных генераторов.

### Порядок выполнения работы.

1. Включите приборы в сеть. Соедините выход генератора со входом осциллографа.

2. На шкале генератора выберите «прямоугольный сигнал», нажав кнопку на панели генератора. Установите сигнал определенной амплитуды и частоты приблизительно по шкале генератора согласно варианта задания по таблице 1.

Таблица 1 – Варианты амплитуды и частоты на шкале генератора

Вариант	1	2	3	4	5	6
$U_m$ , В	1	5	2	3	4	6
Диапазон частот, кГц	0,5 - 1	1 - 5	5 - 10	10 - 25	25 – 50	50 - 75

3. Выберите оптимальные масштабы разверток сигнала, занесите в таблицу 2. Нарисуйте осциллограмму сигнала на миллиметровой бумаге. Вычислите амплитуду импульса и параметры последовательности импульсов, результаты занесите в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений

Исследуемая схема	Измерение амплитуды			Измерение частоты			
	Цена деления	Кол-во делений	$U_m$	Цена деления	Кол-во делений	T	f
	В/дел		В	С/дел		С	Гц
Схема 1							
Схема 2							
Схема 3							

4. На шкале генератора выберите «синусоидальный сигнал», нажав кнопку на панели генератора. Повторите действия согласно п.2 и 3.

5. На шкале генератора выберите «треугольный сигнал», нажав кнопку на панели генератора. Повторите действия согласно п.2 и 3.

7. Сделайте вывод.

**Контрольные вопросы.**

- 1) Каким образом поддерживается непрерывная генерация импульсов в автогенераторах?
- 2) Название каскада на биполярном транзисторе на основе которого построены схемы генераторов.
- 3) Какой из генераторов не является «автогенератором»? Почему?

## **КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся за работу, выполненную самостоятельно безошибочно, в полном объеме с учетом рациональности выбранных решений;

- оценка «хорошо» выставляется обучающемуся за работу, выполненную в полном объеме с недочетами, исправленными самостоятельно по наводящим вопросам преподавателя.

- оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся за работу, выполненную с недочетами, исправленными с помощью преподавателя;

- оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся за работу, выполненную в не полном объеме (менее 50% правильно выполненных заданий от общего объема работы).

## ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основные источники:

1. Немцов В.М., Немцова М.Л. Электротехника и электроника [Текст]: учебник / М.В. Немцов, М.Л. Немцова. – М.: Академия. – 2018.-480 с.

### Дополнительные источники:

1.Лоторейчук, Е. А. Теоретические основы электротехники [Электронный ресурс] : учебник/ Е. А. Лоторейчук. - М.: ИД «ФОРУМ», 2017. - 317 с. - (Профессиональное образование). – Режим доступа: [www.znaniyum.com](http://www.znaniyum.com)

2.Гальперин, М.В. Электротехника и электроника [Электронный ресурс]: учебник / М.В. Гальперин.- 2-е изд.- М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. — 480 с- Режим доступа: [www.znaniyum.com](http://www.znaniyum.com)

### Интернет- ресурсы:

1. Электронная библиотека // <https://www.electrolibrary.info>
2. Электротехника и электроника: Электронный учебно-методический комплекс - ФГОУ ВПО Красноярский государственный аграрный университет, 2014
3. [elek\\_knv\\_20070226](#) Скомпилированный HTML-файл 3696 КБ  
[zhukov-el-the-fppp](#) 5,78 МБ

Министерство образования и науки Челябинской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
**«Южно-Уральский государственный технический колледж»**

## **ОТЧЕТ**

по выполнению лабораторных  
работ по учебной дисциплине  
*«Электротехника и электроника»*

Выполнил:

Группа:

Проверил: