



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ ОП.02 «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»

для специальностей

- |          |   |
|----------|---|
| 21.02.01 | Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений                      |
| 21.02.11 | Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (МПИ) |

## Учебно-методическое пособие

Методические рекомендации по выполнению практических работ по учебной дисциплине ОП.02 «Электротехника» для специальностей 21.02.01 *Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений*; 21.02.11 *Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (МПИ)*

Рассмотрено на заседании ЦМК  
общеобразовательных дисциплин  
Протокол № \_\_\_\_\_  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.  
Председатель ЦМК  
\_\_\_\_\_ Л.В.Петлина

Одобрено и рекомендовано к  
использованию  
методическим советом техникума  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Зам. директора по УМР  
\_\_\_\_\_ Е.А.Метелькова

Разработал: Дементьева О.К., преподаватель ОГБПОУ «ТПТ»

## СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка .....	4
Практическая работа № 1	
Расчёт электростатической цепи с конденсаторами .....	5
Практическая работа № 2	
Расчёт электрической цепи методом узловых и контурных уравнений .....	7
Практическая работа № 3	
Расчёт электрической цепи методом «свёртывания» .....	9
Практическая работа № 4	
Расчёт электрической цепи с нелинейными элементами .....	12
Практическая работа № 5	
Расчёт параметров магнитного поля катушки .....	14
Практическая работа № 6	
Расчет неразветвленной цепи переменного тока с активной и реактивной нагрузкой .....	16
Практическая работа № 7	
Расчёт простейшей неразветвлённой цепи с R, L и C .....	18
Практическая работа № 8	
Расчет симметричной нагрузки, соединенной звездой и треугольником .....	20
Практическая работа № 9	
Расчет несимметричной нагрузки, соединенной звездой .....	22
Практическая работа № 10	
Расчет несимметричной нагрузки, соединенной треугольником .....	24
Практическая работа № 11	
Расчет устройств расширения пределов измерительных приборов .....	26
Практическая работа № 12	
Измерение мощности в однофазной и трехфазной цепи .....	27
Практическая работа № 13	
Расчёт параметров схем с выпрямителями .....	29
Практическая работа № 14	
Получение изображения периодически изменяющихся сигналов с помощью осциллографа .....	32
Используемые источники .....	34

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации по выполнению практических работ (МР) по учебной дисциплине ОП.02 «Электротехника» (МР) предназначены для студентов специальностей 21.02.01 *Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений*; 21.02.11 *Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (МПИ)*. МР также могут быть использованы преподавателями учебной дисциплины «Электротехника» при организации практических работ по электротехнике.

Выполнение практических работ, содержащихся в методических рекомендациях, способствует формированию у студентов компетенций, предусмотренных ФГОС специальности 21.02.01; 21.02.11.

МР выступают средством формирования у обучающихся умений:

- производить расчёты параметров электрических и магнитных цепей;

знаний:

- основных законов электротехники;
- характеристик и параметров электрических и магнитных цепей;
- методов расчета основных параметров электрических и магнитных цепей.

Методические рекомендации являются структурированным сборником, содержащим двадцать практических работ по основным разделам электротехники. Структура практической работы включает следующие позиции:

- 1) цель работы;
- 2) обеспечивающие средства;
- 3) рекомендованную литературу;
- 4) текст задания;
- 5) технологию выполнения практической работы;
- 6) требования к отчету;
- 7) контрольные вопросы.

Теоретическая подготовка к практическим работам осуществляется заранее по конспектам лекций и разделам учебников, указанным в п.3. *Рекомендованная литература*; для самоконтроля подготовки приводятся контрольные вопросы. Защита работы – в виде устных ответов на контрольные вопросы.

При выполнении практической части задания следует действовать в последовательности, рекомендуемой п.5. *Технология работы*.

При оформлении отчёта по практической работе необходимо соблюдать следующие требования:

- указать номер практической работы;
- тему работы;
- номер варианта;
- исходные данные записать в краткой форме;
- привести схему электрической (магнитной) цепи;
- все расчёты начинать с записи формул в общем виде;
- использовать единицы измерения в системе СИ;
- графические построения (схемы, графики, векторные диаграммы) выполнять с применением чертёжных инструментов;
- оформить ответ.

Методические рекомендации повысят эффективность организации самостоятельной работы студентов при выполнении практических работ по курсу «Электротехника».

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

2 часа

## РАСЧЁТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С КОНДЕНСАТОРАМИ

### 1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчета электростатических цепей с конденсаторами.

### 2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы.

### 3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 3.5

### 4. Задание

К батарее конденсаторов  $C_1 - C_8$  подведено постоянное напряжение  $U$ . Определить напряжение на каждом конденсаторе  $U_1, U_2...U_8$ ; заряд каждого конденсатора  $Q_1, Q_2...Q_8$ ; энергию электрического поля каждого конденсатора  $W_1, W_2...W_8$  и энергию конденсаторной батареи  $W$ .

Выполнить проверку соотношения  $W = W_1 + W_2 + ... + W_8$ .

Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 1.1.

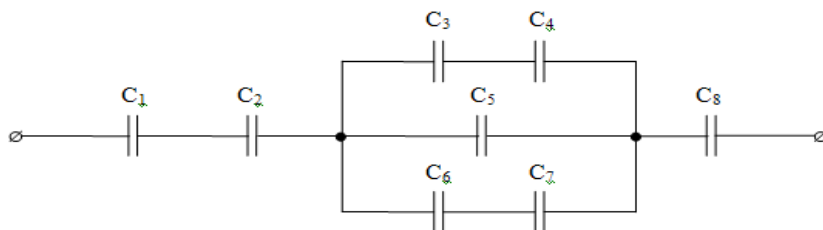


Рис. 1.1. Схема соединения конденсаторов

Таблица 1.1

Вариант	$U$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$
	В	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ	мкФ
1	100	10	-----	30	40	-----	20	-----	50
2	50	5	15	20	40	25	-----	-----	-----
3	120	-----	40	15	8	8	8	-----	60
4	140	-----	50	10	12	14	20	20	-----
5	220	-----	20	-----	5	4	20	20	10
6	240	-----	30	-----	40	-----	35	35	50
7	80	-----	25	15	20	-----	10	15	12
8	300	10	-----	20	40	40	-----	-----	35
9	60	12	-----	15	20	-----	-----	30	40
10	200	80	20	25	15	-----	25	-----	-----
11	250	-----	50	40	-----	-----	50	150	60
12	200	40	60	30	-----	-----	45	40	-----
13	400	100	200	-----	-----	30	80	120	-----
14	250	60	-----	-----	20	24	72	36	120
15	150	50	-----	18	36	-----	15	30	30

## **5. Технология работы**

- 5.1. Записать номер работы, тему, номер варианта, в краткой форме условие задачи.
- 5.2. Изобразить схему электрической цепи в соответствии с данными своего варианта.
- 5.3. Проанализировать структуру электрической цепи, определить способы соединения элементов.
- 5.4. Определить эквивалентную ёмкость  $C$ .
- 5.5. Вычислить заряд всей батареи  $Q = C \cdot U$ .
- 5.6. Найти напряжение и заряд на каждом конденсаторе, используя свойства последовательного и параллельного соединений конденсаторов.
- 5.7. Вычислить энергию электрического поля каждого конденсатора и конденсаторной батареи.
- 5.8. Убедиться, что энергия электрического поля конденсаторной батареи равна сумме энергий электрического поля всех конденсаторов  $W = W_1 + W_2 + \dots + W_8$ .

## **6. Требования к отчёту**

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

## **7. Контрольные вопросы**

- 7.1. Понятие электрической ёмкости.
- 7.2. От каких параметров зависит ёмкость плоского конденсатора?
- 7.3. Последовательное соединение конденсаторов. Свойства.
- 7.4. Параллельное соединение конденсаторов. Свойства.
- 7.5. При каком способе соединения конденсаторов общая ёмкость возрастает?
- 7.6. На каком из двух конденсаторов разной ёмкости, соединённых последовательно, напряжение больше?
- 7.7. Какой из двух конденсаторов разной ёмкости, соединённых параллельно, имеет больший заряд?
- 7.8. Как изменится энергия электрического поля конденсатора, если напряжение на пластинах увеличить в 3 раза?
- 7.9. Как изменится заряд на пластинах конденсатора, если расстояние между пластинами уменьшить в 2 раза?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

2 часа

### **РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЙ КИРХГОФА**

#### **1. Цель работы**

Приобретение практических навыков расчёта электрической цепи постоянного тока с помощью законов Кирхгофа и составления баланса мощностей

#### **2. Обеспечивающие средства**

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы

#### **3. Литература**

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 3.1

#### **4. Задание**

Для схемы, показанной на рисунке 2.1 и адаптированной к данным вашего варианта, определить токи  $I$  и мощности  $P$  на всех участках электрической цепи.

Правильность решения проверить составлением баланса мощности  $\sum P_{ист} = \sum P_{пот}$ .

Данные для расчетов (по вариантам) взять из таблицы 2.1.

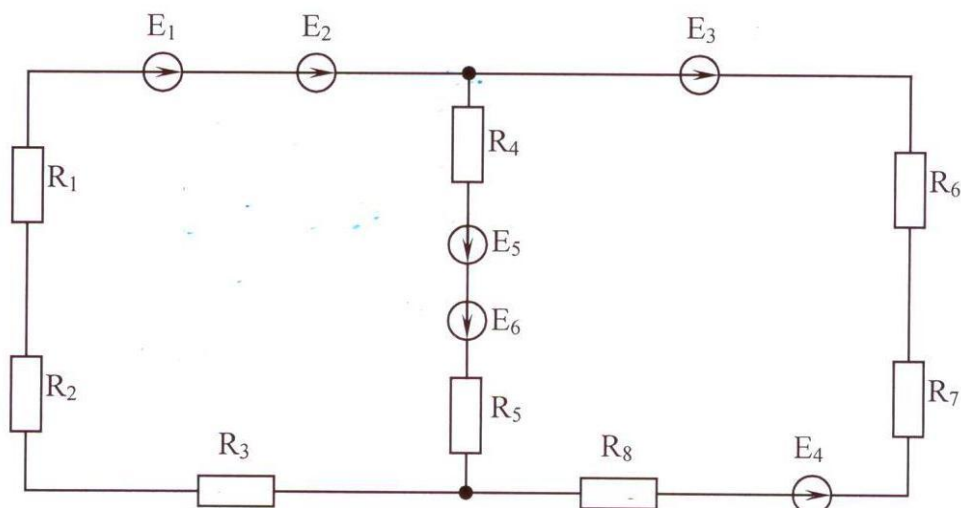


Рис. 2.1

#### **5. Технология работы**

- 5.1. Записать номер работы, тему, номер варианта, данные своего варианта.
- 5.2. Изобразить схему электрической цепи в соответствии с данными своего варианта.
- 5.3. Проанализировать структуру электрической цепи (узлы, ветви, контуры), выбрать и указать на схеме положительные направления токов в ветвях.
- 5.4. Составить систему уравнений по законам Кирхгофа.
- 5.5. Решить систему уравнений. Определить значения токов в ветвях и действительные направления токов.
- 5.6. Сделать проверку решения по первому закону Кирхгофа.
- 5.7. Вычислить мощности приёмников электрической энергии, а также мощности источников ЭДС.
- 5.8. Составить баланс мощностей, учитывая режим работы источников ЭДС (генераторный или потребителя).

#### **6. Требования к отчёту**

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

### 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

Таблица 2.1

Вариант	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_7$	$R_8$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$
	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	В	В	В	В	В	В
1	----	10	----	40	----	20	----	30	100	----	----	150	200	----
2	15	----	----	20	30	----	40	----	----	80	130	----	----	200
3	20	----	8	----	10	----	----	4	150	----	300	10	50	----
4	----	6	10	20	----	5	----	----	----	100	----	60	----	80
5	15	----	----	15	----	----	10	20	----	60	70	140	----	100
6	----	10	8	40	----	20	----	----	----	50	50	100	150	----
7	20	----	----	10	10	----	15	----	----	20	70	----	----	150
8	----	10	----	24	----	6	----	----	140	----	----	70	60	----
9	----	8	10	15	----	4	----	----	----	100	----	30	----	60
10	5	----	10	----	20	----	----	6	200	----	300	50	50	----
11	----	10	15	5	----	20	----	25	----	70	60	100	140	----
12	10	----	----	40	----	30	40	50	----	100	40	60	----	80
13	20	----	25	----	30	----	----	40	60	----	100	200	250	----
14	30	----	----	5	15	----	60	----	----	100	50	----	----	60
15	4	----	----	10	----	10	15	8	----	80	60	40	----	100

## 7. Контрольные вопросы

- 7.1. Определение узла электрической цепи.
- 7.2. Определение ветви электрической цепи.
- 7.3. Определение контура электрической цепи.
- 7.4. Первый закон Кирхгофа.
- 7.5. Второй закон Кирхгофа.
- 7.6. Порядок расчета электрических цепей методом узловых и контурных уравнений.
- 7.7. Сколько уравнений по первому закону Кирхгофа следует составить при расчёте цепи методом узловых и контурных уравнений?
- 7.8. Каково общее количество уравнений в системе уравнений при расчёте электрической цепи методом узловых и контурных уравнений?
- 7.9. Как проверить правильность выполнения расчетов?



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

2 часа

### РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ МЕТОДОМ «СВЁРТЫВАНИЯ»

#### 1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчёта электрической цепи постоянного тока с одним источником энергии

#### 2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы

#### 3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 3.2-3.3

#### 4. Задание

К электрической цепи  $R_1 - R_8$  (рис. 3.1, 3.2, 3.3) подведено постоянное напряжение  $U$ . Определить напряжение на каждом участке  $U_1, U_2 \dots U_8$ , силу тока  $I_1, I_2 \dots I_8$ , мощность всей нагрузки  $P$  и мощность на каждом участке  $P_1, P_2 \dots P_8$ .

Правильность решения проверить составлением баланса мощностей  $P = P_1 + P_2 + \dots + P_8$ .

Данные своего варианта взять из таблицы 3.1.

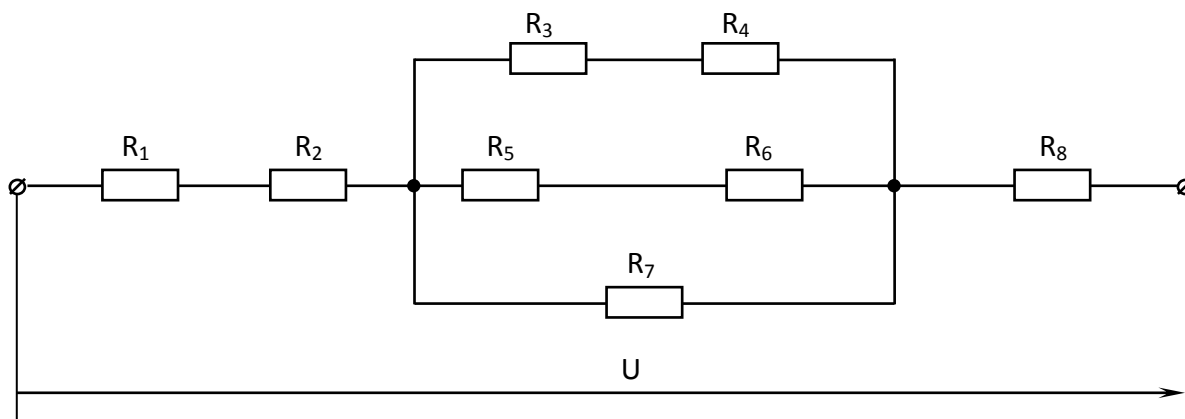


Рис. 3.1

Таблица 3.1

Вариант	Схема	$U$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_7$	$R_8$
		В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	3.1	200	----	----	10	20	----	40	50	60
2	3.1	250	20	----	----	22	30	50	60	----
3	3.1	300	10	20	30	----	40	----	50	----
4	3.1	100	5	15	20	40	25	----	----	----
5	3.1	120	----	10	15	8	8	4	----	----
6	3.1	240	----	----	10	12	14	20	25	----
7	3.1	70	----	----	----	5	4	9	9	10
8	3.1	80	----	25	15	20	----	10	5	----
9	3.1	90	10	----	20	40	40	----	----	35
10	3.1	150	12	----	15	20	----	----	30	40
11	3.1	400	8	10	10	15	----	----	25	----
12	3.1	600	14	15	30	----	----	----	45	40
13	3.1	450	10	20	----	----	30	40	50	----
14	3.1	220	20	----	----	22	24	----	15	10

Вариант	Схема	$U$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_7$	$R_8$
		В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
15	3.1	100	17	18	-----	-----	19	20	22	-----
16	3.2	110	16,7	300	100	20	80	150	140	-----
17	3.2	150	18	48	160	20	80	-----	140	-----
18	3.2	160	40	120	210	30	90	150	60	-----
19	3.2	180	145	500	250	100	200	600	300	-----
20	3.2	400	50	600	240	700	300	3000	450	-----
21	3.3	200	70	130	450	50	600	1800	-----	-----
22	3.3	240	220	80	200	15	150	150	-----	-----
23	3.3	300	90	150	133,2	97,5	160	70	-----	-----
24	3.3	150	250	150	60	200	600	150	-----	-----
25	3.3	400	200	400	120	80	400	180	-----	-----

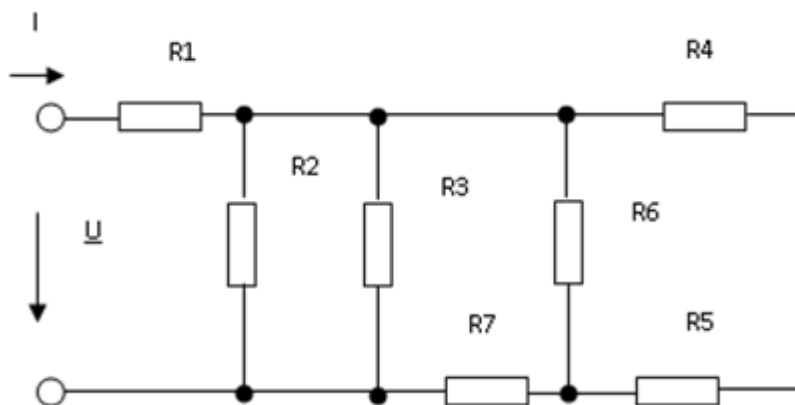


Рис. 3.2

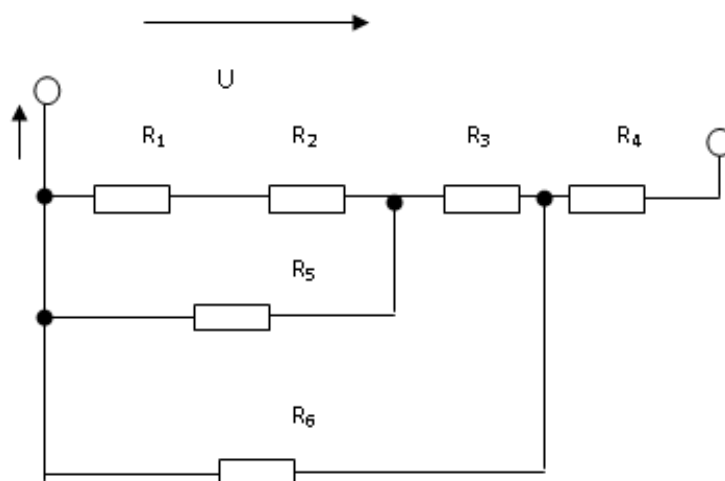


Рис. 3.3

## 5. Технология работы

- 5.1. Записать номер работы, тему, номер варианта, данные своего варианта.
- 5.2. Изобразить схему электрической цепи в соответствии с данными своего варианта.
- 5.3. Указать на схеме положительные направления токов в ветвях.
- 5.4. Определить эквивалентное сопротивление цепи.
- 5.5. Определить напряжение и ток каждого участка электрической цепи. Расчёт начинать с последнего этапа преобразования, определяя тип соединения участков

(последовательно или параллельно) и используя свойства соединений о равенстве токов при последовательном соединении участков или равенстве напряжений при параллельном соединении.

5.6. Определить мощность всей нагрузки и каждого участка и составить баланс мощностей.

### **6. Требования к отчёту**

6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.

6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

### **7. Контрольные вопросы**

7.1. Что называют последовательным соединением резисторов?

7.2. Что называют параллельным соединением резисторов?

7.3. Перечислить свойства последовательного соединения резисторов.

7.4. Перечислить свойства параллельного соединения резисторов.

7.5. Как определяется эквивалентное сопротивление при последовательном соединении резисторов?

7.6. Как определяется эквивалентное сопротивление при параллельном соединении ~~двух~~ резисторов?

7.7. На каком из двух последовательно соединённых, разных по величине резисторов, будет больше падение напряжения?

7.8. В какой из двух параллельных ветвей, имеющих разное сопротивление, будет больше ток?

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

2 часа

## РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

### 1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчёта электрической цепи постоянного тока с нелинейными элементами графическим методом

### 2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы

### 3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 4.1-4.2

### 4. Задание

4.1. Два нелинейных элемента  $HЭ1$  и  $HЭ2$  соединены последовательно. Вольт–амперные характеристики (ВАХ) нелинейных элементов и напряжение питания  $U$  заданы в таблице заданий по вариантам 4.7.

Определите ток  $I$  и падение напряжения на каждом элементе  $U_1, U_2$ .

Таблица 4.1

№ ВАХ	$U_{HЭ}, В$	20	40	80	120	160	200	$U=250 В$
1	$I_{HЭ}, мА$	3,5	9	28	56	84	112	
2	$I_{HЭ}, мА$	8	23	120				

Таблица 4.2

№ ВАХ	$U_{HЭ}, В$	50	100	150	200	250	$U=200 В$
1	$I_{HЭ}, мА$	0,2	0,6	1,4	2,6	5,6	
2	$I_{HЭ}, мА$	0,5	1,3	2,5	5,5		

Таблица 4.3

№ ВАХ	$U_{HЭ}, В$	10	20	30	40	50	60	70	80	$U=100 В$
1	$I_{HЭ}, мА$	5	8	13	23	38	55	84	120	
2	$I_{HЭ}, мА$	10	20	35	60	100				

4.2. Нелинейный элемент  $HЭ1$  соединен последовательно с резистором  $R$  и подключен к источнику постоянного напряжения  $U$ . Вольт–амперная характеристика нелинейного элемента, сопротивление резистора  $R$  и напряжение питания  $U$  заданы в таблице 4.7.

Определите силу тока в цепи  $I$ , а также падение напряжения на нелинейном элементе  $U_{HЭ}$  и на резисторе  $U_R$ .

4.3. Два нелинейных элемента  $HЭ1$  и  $HЭ2$  соединены параллельно. Вольт–амперные характеристики нелинейных элементов и ток  $I_B$  неразветвлённой части цепи заданы в таблице 4.7.

Определите напряжение  $U$  и токи в ветвях  $I_1, I_2$ .

Таблица 4.4

№ ВАХ	$U_{HЭ}, В$	8	16	24	32	$I=400 мА$
1	$I_{HЭ}, мА$	200	270	300	310	
2	$I_{HЭ}, мА$	100	160	180	190	

Таблица 4.5

№ ВАХ	$U_{HЭ}, В$	50	100	150	200	250	300	$I=20 мА$
1	$I_{HЭ}, мА$	5	7	8	9	9,5	10	
2	$I_{HЭ}, мА$	10	15	17	17,5	17,7	18	

Таблица 4.6

№ ВАХ	$U_{HЭ}, В$	2	4	6	8	10	12	$I=40 мА$
1	$I_{HЭ}, мА$	5	17	25	27	28	29	
2	$I_{HЭ}, мА$	12	19	22	22,5	23	23	

Таблица 4.7

Вариант	№ первого задания	№ второго задания	№ таблицы с ВАХ1 и ВАХ2	Данные к заданию 4.2	
				$R, кОм$	$U, В$
1	4.1	4.2	7.1	4	200
2	4.3	4.2	7.4	0,1	30
3	4.1	4.2	7.2	30	300
4	4.3	4.2	7.5	12	240
5	4.1	4.2	7.3	2	200
6	4.3	4.2	7.6	3	120

### 5. Технология работы

- 5.1. Выбрать из таблицы 4.7 номера заданий, соответствующие Вашему варианту.
- 5.2. Изобразить схему электрической цепи согласно первому заданию.
- 5.3. Построить графики ВАХ нелинейных элементов в масштабе.
- 5.4. Построить график суммарной ВАХ.
- 5.5. Определить графически параметры рабочего режима электрической цепи (при заданном значении напряжения  $U$ ).
- 5.6. Изобразить схему электрической цепи согласно второму заданию.
- 5.7. Рассчитать координаты двух точек для построения нагрузочной характеристики  $I_R=f(U_{HЭ})$  при  $U_{HЭ}=0$  и  $U_{HЭ}=U$ .
- 5.8. Выбрать масштаб и построить график ВАХ нелинейного элемента и нагрузочную характеристику.
- 5.9. Определить параметры рабочего режима:  $I$ ,  $U_{HЭ}$  и  $U_R$ .

### 6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

### 7. Контрольные вопросы

- 7.1. Какие элементы электрических цепей относятся к нелинейным?
- 7.2. Примеры линейных и нелинейных элементов.
- 7.3. Что такое вольт-амперная характеристика?
- 7.4. Как строится суммарная ВАХ при последовательном соединении нелинейных элементов?
- 7.5. Как строится суммарная ВАХ при параллельном соединении нелинейных элементов?
- 7.6. Как строится нагрузочная характеристика при последовательном соединении нелинейного и линейного элементов?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

2 часа

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КАТУШКИ

#### 1. Цель работы

Приобретение практических навыков расчёта параметров магнитного поля провода с током и магнитного поля катушки

#### 2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы

#### 3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», § 5.2; 5.5-5.6

#### 4. Задание

4.1. По проводнику диаметром  $d_{np}$  проходит ток  $I$ .

Найти напряженность магнитного поля  $H$  в точках, удаленных от центра провода на расстояния  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ .

Построить в масштабе график  $H = f(r)$ .

Данные своего варианта взять из таблицы 5.1.

4.2. Катушка с кольцевым сердечником круглого сечения изготовлена из электротехнической стали с относительной магнитной проницаемостью  $\mu$ . Внутренний радиус сердечника  $r_1$ , наружный радиус сердечника  $r_2$ . Обмотка катушки содержит  $\omega$  витков, по которым протекает ток  $I$ .

Вычислить напряженность магнитного поля  $H$ , магнитную индукцию  $B$  и магнитный поток  $\Phi$  в сердечнике катушки.

Данные своего варианта взять из таблицы 5.1.

Таблица 5.1

Вариант	Задание 4.1								Задание 4.2				
	$d_{np},$ мм	$I, A$	$r_1,$ мм	$r_2,$ мм	$r_3,$ мм	$r_4,$ мм	$r_5,$ мм	$r_6,$ мм	$\mu$	$r_1,$ см	$r_2,$ см	$\omega$	$I, A$
1	20	200	0	10	20	30	40	50	2000	8	12	400	2,5
2	14	100	0	4	7	10	14	21	5000	10	18	1500	0,25
3	12	300	0	3	6	12	20	30	2800	11	15	1600	1,5
4	24	500	0	4	6	12	30	60	1500	12	18	1200	0,4
5	20	100	0	5	10	15	30	40	2500	11	19	800	1,2
6	16	200	0	5	8	16	32	40	4000	9	15	3200	0,2

#### 5. Технология работы

5.1. Порядок выполнения задания 4.1:

5.1.1. Проанализировать расположение заданных точек: установить, находятся ли заданные точки внутри проводника или за его пределами.

5.1.2. Определить напряженность магнитного поля  $H_i$  в точках, расположенных внутри проводника  $H_i = I \cdot r_i / 2\pi r_o^2$ .

5.1.3. Определить напряженность магнитного поля  $H_i$  в точках, расположенных за пределами проводника  $H_i = I / 2\pi r_i$ .

5.1.4. Построить график  $H = f(r)$ , выбрав предварительно масштаб по каждой из осей и произведя в выбранном масштабе разметку осей.

## 5.2. Порядок выполнения задания 4.2:

5.2.1. Определить радиус средней линии сердечника  $r_{cp}$  и длину средней линии сердечника  $l_{cp}$ .

5.2.2. Определить намагничивающую силу обмотки  $F=I \cdot \omega$ .

5.2.3. Найти напряженность магнитного поля  $H$  внутри сердечника (вдоль средней линии) и магнитную индукцию  $B$ .

5.2.4. Определить площадь **поперечного сечения**  $S_{сеч.}$  сердечника катушки.

5.2.5. Вычислить магнитный поток  $\Phi$ , замыкающийся по сердечнику.

## 6. Требования к отчёту

6.1. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.

6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

## 7. Контрольные вопросы

7.1. Намагничивающая сила прямолинейного провода с током.

7.2. Намагничивающая сила катушки.

7.3. Определение понятия «напряженность магнитного поля».

7.4. Как определяется направление вектора напряженности магнитного поля?

7.5. Напряженность магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии  $r$  от центра прямолинейного проводника.

7.6. Формула для расчёта магнитной индукции  $B$ .

7.7 Формула для расчёта магнитного потока  $\Phi$ .

7.8. Как определяется направление магнитного потока катушки?

7.9. Закон полного тока.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

2 часа

### **РАСЧЕТ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ НАГРУЗКОЙ**

#### **1. Цель работы**

Приобретение практических навыков расчета неразветвленных цепей переменного тока и построения векторных диаграмм

#### **2. Обеспечивающие средства**

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы

#### **3. Литература**

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 9.2-9.5

#### **4. Задание**

4.1. Неразветвленная цепь переменного тока содержит активное и реактивное сопротивления, величины которых и уравнение мгновенных значений входного напряжения заданы в таблице 6.1.

Определить:

- а) полное сопротивление цепи  $Z$ ;
- б) действующее значение тока  $I$ ;
- в) действующие значения напряжений на активном и реактивном сопротивлениях ( $U_a$ ,

$U_p$ );

- г) коэффициент мощности  $\cos\varphi$  и угол сдвига фаз  $\varphi$ ;
  - д) активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности, потребляемые цепью.
- Записать уравнение мгновенных значений тока.

Построить в масштабе треугольники напряжений, сопротивлений, мощностей.

\*Построить в масштабе векторную диаграмму цепи (с учётом начальных фаз).

\*Записать уравнения мгновенных значений напряжений на активном ( $u_a$ ) и реактивном ( $u_p$ ) сопротивлениях.

Таблица 6.1

Вариант	$R, \text{ Ом}$	$X, \text{ Ом}$	Уравнение мгновенных значений напряжения
1	110	$X_L = 70$	$u = 290 \cdot \sin(314t - 15^\circ)$
2	24	$X_C = 40$	$u = 185 \cdot \sin(500t + 21^\circ)$
3	18	$X_L = 47$	$u = 216 \cdot \sin(628t - 62^\circ)$
4	95	$X_C = 120$	$u = 456 \cdot \sin(400t + 35^\circ)$
5	17	$X_L = 32$	$u = 104 \cdot \sin(942t - 74^\circ)$
6	120	$X_C = 50$	$u = 372 \cdot \sin(200t - 90^\circ)$
7	34	$X_L = 20$	$u = 158 \cdot \sin(1256t + 150^\circ)$
8	110	$X_C = 60$	$u = 316 \cdot \sin(100t - 45^\circ)$
9	23	$X_L = 14$	$u = 244 \cdot \sin(157t + 65^\circ)$
10	39	$X_C = 18$	$u = 188 \cdot \sin(250t + 58^\circ)$
11	30	$X_L = 50$	$u = 119 \cdot \sin(240t - 90^\circ)$
12	54	$X_C = 54$	$u = 295 \cdot \sin(200t - 12^\circ)$
13	14	$X_L = 16$	$u = 70 \cdot \sin(314t - 105^\circ)$
14	12	$X_C = 20$	$u = 154 \cdot \sin(160t - 18^\circ)$
15	18	$X_L = 14$	$u = 182 \cdot \sin(157t + 30^\circ)$

#### **5. Технология работы**

- 5.1. Изобразить схему электрической цепи в соответствии с данными своего варианта.
- 5.2. Определить полное сопротивление  $Z$ .



- 5.3. Определить действующее значение напряжения  $U$ .
- 5.4. Определить действующее значение тока  $I$ .
- 5.5. Вычислить действующие значения напряжений на активном и реактивном сопротивлениях ( $U_a$  и  $U_p$ ).
- 5.6. Определить  $\cos\varphi$  и  $\varphi$ .
- 5.5. Вычислить мощности  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ .
- 5.6. Определить максимальное значение тока  $I_m$ . Записать уравнение мгновенных значений тока с учётом сдвига фаз  $\varphi$ .
- 5.7. Выбрать масштабы по току и по напряжению. Построить треугольник напряжений относительно тока. Вектор тока изобразить в масштабе горизонтально, векторы действующих значений напряжений на активном и реактивном сопротивлениях ( $U_a$  и  $U_p$ ) построить с учётом сдвигов фаз. Вектор полного напряжения  $U$  построить как векторную сумму активного и реактивного напряжений. Аналогично построить треугольники сопротивлений и мощностей, каждый в своём масштабе.
- 5.8. Построить векторную диаграмму напряжений, учитывая начальные фазы каждой величины и сдвиги фаз. Изобразить вектор тока и векторы напряжений на каждом участке цепи. Сложить векторы напряжений на участках ( $U_a$  и  $U_p$ ), получив вектор общего напряжения. Сравнить с расчётным значением.

## **6. Требования к отчёту**

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

## **7. Контрольные вопросы**

- 7.1. Действующее значение синусоидального тока.
- 7.2. Как зависит индуктивное сопротивление от частоты?
- 7.3. Как зависит ёмкостное сопротивление от частоты?
- 7.4. Полное сопротивление в цепи переменного тока (формула).
- 7.5. Что понимают под активной мощностью? Расчётные формулы.
- 7.6. Что понимают под реактивной мощностью? Расчётные формулы.
- 7.7. Угловая частота (формула).
- 7.8. Правило о сдвиге фаз в цепи с активным сопротивлением.
- 7.9. Правило о сдвиге фаз в цепи с индуктивностью.
- 7.10. Правило о сдвиге фаз в цепи с ёмкостью.
- 7.11. Вид треугольника сопротивлений при активно-индуктивной нагрузке.
- 7.12. Вид треугольника мощностей при активно-ёмкостной нагрузке.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

2 часа

### **РАСЧЁТ ПРОСТЕЙШЕЙ НЕРАЗВЕТВЛЁННОЙ ЦЕПИ с $R$ , $L$ и $C$**

#### **1. Цель работы**

Приобретение практических навыков расчета неразветвленных цепей переменного тока и построения векторных диаграмм

#### **2. Обеспечивающие средства**

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы

#### **3. Литература**

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 9.6

#### **4. Задание**

Неразветвленная цепь переменного тока содержит активное  $R$ , индуктивное  $X_L$  и емкостное  $X_C$  сопротивления, величины которых и уравнение мгновенных значений входного напряжения  $u = f(t)$  заданы в таблице 7.1.

Определить:

а) полное сопротивление цепи  $Z$ ;

б) действующее значение тока  $I$  в цепи;

в) напряжение на каждом участке  $U_a$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ ;

г) угол сдвига фаз  $\varphi$ ;

д) активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности, потребляемые цепью.

Записать уравнения мгновенных значений тока  $i = f(t)$ .

Построить в масштабе треугольники напряжений, сопротивлений, мощностей.

\* Записать уравнения мгновенных значений напряжений  $u_a$ ,  $u_L$ ,  $u_C$  и построить в масштабе векторную диаграмму с учётом начальных фаз.

#### **5. Технология работы**

5.1. Изобразить схему электрической цепи.

5.2. Определить полное сопротивление  $Z$ .

5.3. Определить действующие значения напряжения  $U$  и тока  $I$ .

5.4. Найти по закону Ома напряжение на каждом участке  $U_a$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ .

5.5. Определить  $\cos\varphi$  и  $\varphi$ .

5.6. Вычислить мощности  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ .

5.7. Найти максимальное значение тока. Записать уравнения мгновенных значений тока с учётом сдвига фаз.

5.8. Выбрать масштабы по току и по напряжению, определить длину векторов  $I$ ,  $U_a$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ . Вектор тока изобразить в масштабе горизонтально. Построить треугольник напряжений относительно тока: для этого векторы действующих значений напряжений на активном сопротивлении  $U_a$  и на реактивных сопротивлениях  $U_L$  и  $U_C$  откладывать с учётом сдвигов фаз последовательно один за другим. Вектор полного напряжения  $U$  построить как векторную сумму напряжений  $U_a$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ .

5.9. Аналогично построить треугольники сопротивлений и мощностей, каждый в своём масштабе.

5.10. Построение векторной диаграммы начать с тока, который нужно изобразить с учётом начальной фазы в выбранном масштабе. Напряжения  $U_a$ ,  $U_L$ ,  $U_C$  построить с учётом сдвигов фаз. Вектор полного напряжения  $U$  построить путём сложения векторов  $U_a$ ,  $U_L$ ,  $U_C$  по правилу параллелограмма. Сравнить с заданным значением.

#### **6. Требования к отчёту**

6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.

6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

Таблица 7.1

Вариант	$R, \text{ Ом}$	$X_L, \text{ Ом}$	$X_C, \text{ Ом}$	Входное напряжение
1	24	60	28	$u=112 \cdot \sin(200t+15^\circ)$
2	20	30	46,6	$u=182 \cdot \sin(314t-21^\circ)$
3	30	75	35	$u=210 \cdot \sin(400t+70^\circ)$
4	16	22	34	$u=56 \cdot \sin(\omega t-35^\circ)$
5	17	50,6	30,6	$u=105 \cdot \sin(\omega t+74^\circ)$
6	25	10	41,2	$u=84 \cdot \sin(\omega t-60^\circ)$
7	36	48	21	$u=126 \cdot \sin(\omega t+135^\circ)$
8	45	25	56,6	$u=308 \cdot \sin(\omega t-45^\circ)$
9	25	40,5	16	$u=245 \cdot \sin(\omega t+65^\circ)$
10	27	15	51	$u=189 \cdot \sin(\omega t-58^\circ)$
11	21,8	60	15	$u=280 \cdot \sin(\omega t+55^\circ)$
12	52	40	70	$u=168 \cdot \sin(\omega t-28^\circ)$
13	24,2	40,1	26	$u=98 \cdot \sin(\omega t+105^\circ)$
14	49	14	74	$u=196 \cdot \sin(\omega t-90^\circ)$
15	151	40	200	$u=154 \cdot \sin(\omega t+26^\circ)$

### 7. Контрольные вопросы

7.1. Как определяется действующее значение синусоидального напряжения?

7.2. Полное сопротивление в цепи переменного тока из треугольника сопротивлений.

7.3. Формулы активной мощности.

7.4. Формулы реактивной мощности.

7.5. Коэффициент мощности. Формулы.

7.6. Правило о сдвиге фаз при активно-индуктивной нагрузке.

7.7. Правило о сдвиге фаз при активно-ёмкостной нагрузке.

7.8. Единицы измерения активной мощности, реактивной и полной.

7.9. Полная мощность. Формулы для определения полной мощности.

7.10. Реактивное сопротивление в цепи с индуктивностью и ёмкостью.

7.11. Треугольник сопротивлений в цепи с последовательным соединением  $R$ ,  $L$ ,  $C$  для случая  $X_L < X_C$ .

7.12. Коэффициент мощности. Расчётные формулы.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

2 часа

### **РАСЧЕТ СИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ, СОЕДИНЕННОЙ ЗВЕЗДОЙ И ТРЕУГОЛЬНИКОМ**

#### **1. Цели работы**

- 1.1. Приобретение практических навыков расчета трехфазной электрической цепи, соединённой звездой и треугольником, при симметричной нагрузке
- 1.2. Приобретение практических навыков построения векторных диаграмм

#### **2. Обеспечивающие средства**

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы;
- 2.3. Чертёжные инструменты

#### **3. Литература**

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 11.2

#### **4. Задание**

4.1. Трёхфазная нагрузка соединена звездой. Данные своего варианта взять из таблицы 8.1 ( $X_L > 0$ ;  $X_C < 0$ ).

- а) По условию задания начертить расчетную схему.
  - б) Определить фазное напряжение  $U_\phi$ , фазный ток  $I_\phi$ , коэффициент мощности  $\cos\varphi$  и сдвиг фаз между напряжением и током  $\varphi$ .
  - в) Определить линейный ток  $I_L$ .
  - г) Определить мощности, потребляемые нагрузкой  $S$ ,  $P$  и  $Q$ .
  - е) Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов.
- \* Записать уравнения мгновенных значений фазных напряжений и фазных токов в приемниках энергии при условии, что начальная фаза *напряжения* в фазе «А»  $\psi_A = 90^\circ$ .

Таблица 8.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$U_L$	380	380	220	190	173	346	380	380	220	190	660	346
$R_\phi$	14,	14	17,2	30	20	14,1	41,4	48	10,2	8	160	60
$X_\phi$	41,4	-48	10,2	-40	15	-14,1	14,9	-14	17,2	-20,5	120	-80

4.2. Трёхфазный приёмник энергии соединён треугольником. Данные своего варианта взять из таблицы 8.1.

- а) По условию задания начертить расчетную схему;
  - б) Определить фазное напряжение  $U_\phi$ , фазный ток  $I_\phi$ , коэффициент мощности  $\cos\varphi$  и сдвиг фаз между напряжением и током  $\varphi$ .
  - в) Определить линейный ток  $I_L$ .
  - г) Определить мощности, потребляемые нагрузкой  $S$ ,  $P$  и  $Q$ .
  - е) Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов.
- \* Записать уравнения мгновенных значений фазных напряжений и фазных токов в приемниках энергии при условии, что начальная фаза *напряжения* в фазе «АВ»  $\psi_{AB} = -40^\circ$ .

Таблица 8.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$U_L$	220	190	660	346	346	220	380	380	220	190	173	346
$R_\phi$	8	160	60	41,4	80	17,2	14	17,2	30	20	14,9	41,4
$X_\phi$	-20,5	120	-80	14,9	-60	10,2	-48	10,2	-40	15	-41,4	14,9

## 5. Технология работы

5.1.1. Изобразить схему трёхфазной нагрузки, соединенной звездой, в соответствии с данными своего варианта (таблица 8.1).

5.1.2. Определить фазное напряжение  $U_{\phi}$ .

5.1.3. Определить полное сопротивление фазы  $Z_{\phi}$ .

5.1.4. Определить по закону Ома фазный ток  $I_{\phi}$ .

5.1.5. Определить линейный ток  $I_L$ .

5.1.6. Вычислить мощности в фазах приёмника  $S_{\phi}$ ,  $P_{\phi}$  и  $Q_{\phi}$  и мощности всей нагрузки  $S$ ,  $P$  и  $Q$ .

5.1.7. Выбрать масштаб по напряжению. Построить векторную диаграмму фазных напряжений генератора (они же и фазные напряжения приёмника  $U_A, U_B, U_C$ ) и линейных напряжений. Выбрать масштаб по току, построить векторы фазных и линейных токов  $I_A, I_B, I_C$ .

5.2.1. Изобразить схему трёхфазной нагрузки, соединенной треугольником, в соответствии с данными своего варианта (таблица 8.2).

5.2.2. Определить фазное напряжение  $U_{\phi}$ .

5.2.3. Определить полное сопротивление фазы  $Z_{\phi}$ .

5.2.4. Определить по закону Ома фазный ток  $I_{\phi}$ .

5.2.5. Определить линейный ток  $I_L$ .

5.2.6. Вычислить мощности в фазах приёмника  $S_{\phi}$ ,  $P_{\phi}$  и  $Q_{\phi}$  и мощности всей нагрузки  $S$ ,  $P$  и  $Q$ .

5.2.7. Выбрать масштаб по напряжению. Построить векторную диаграмму фазных напряжений приёмника  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ . Выбрать масштаб по току, построить векторы фазных токов  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$  и линейных токов  $I_A, I_B, I_C$ .

## 6. Требования к отчёту

6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.

6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

## 7. Контрольные вопросы

7.1. Как маркируют начала и концы фаз трёхфазного генератора?

7.2. Как получить на клеммном щитке соединение звездой?

7.3. Каково соотношение между фазным и линейным напряжением в звезде?

7.4. Каково соотношение между фазным и линейным током в звезде?

7.5. Как получить на клеммном щитке соединение треугольником?

7.6. Каково соотношение между фазным и линейным напряжением в треугольнике?

7.7. Каково соотношение между фазным и линейным током при симметричной нагрузке, соединённой треугольником?

7.8. Как определяется активная мощность фазы?

7.9. Как определяется реактивная мощность фазы?

7.10. Как определяется полная мощность фазы?

7.11. Как при симметричной нагрузке определяются мощности всей цепи  $S$ ,  $P$  и  $Q$ ?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9

2 часа

### **РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ, СОЕДИНЕННОЙ ЗВЕЗДОЙ, С НЕЙТРАЛЬНЫМ ПРОВОДОМ**

#### **1. Цели работы**

- 1.1. Приобретение практических навыков расчета трехфазной электрической цепи, соединённой звездой, при несимметричной нагрузке
- 1.2. Приобретение практических навыков построения векторных диаграмм

#### **2. Обеспечивающие средства**

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы;
- 2.3. Чертёжные инструменты

#### **3. Литература**

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 11.2

#### **4. Задание**

Трёхфазная нагрузка соединена звездой по четырёхпроводной схеме с нейтральным проводом мало ( $Z_N \rightarrow 0$ ). Данные своего варианта взять из таблицы 9.1 ( $X_L > 0$ ;  $X_C < 0$ ).

Определить фазные напряжения на приемниках энергии  $U'_A, U'_B, U'_C$  и фазные токи  $I_A, I_B, I_C$ , а также мощность, потребляемую нагрузкой  $S, P, Q$ . Ток в нейтральном проводе определить графически по первому закону Кирхгофа.

Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов.

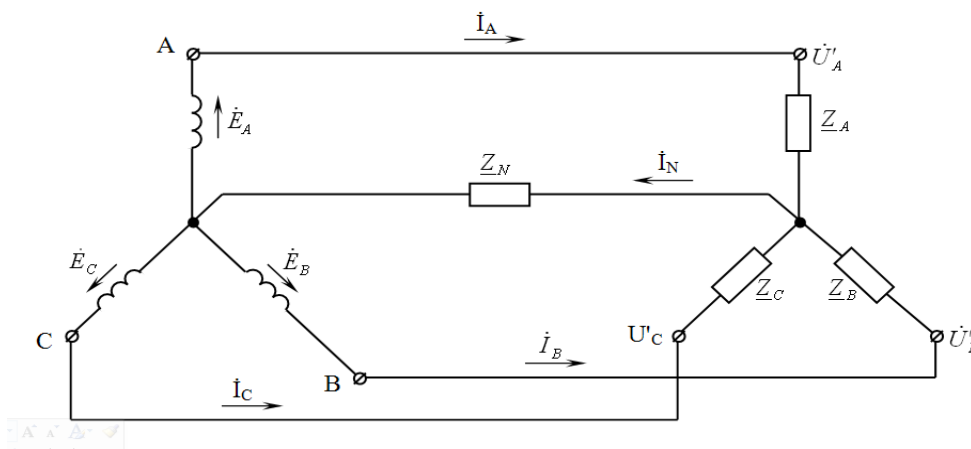


Рисунок 9.1. Трёхфазная цепь, соединённая звездой

#### **5. Технология работы**

- 5.1. Изобразить схему трёхфазной нагрузки, соединённой звездой, в соответствии с данными своего варианта.
- 5.2. Определить фазные напряжения  $U_A, U_B, U_C$ .
- 5.3. Определить полные сопротивления фаз  $Z_A, Z_B, Z_C$ .
- 5.4. Найти по закону Ома фазные токи  $I_A, I_B, I_C$ .
- 5.5. Вычислить мощности в фазах приёмника и мощность всей нагрузки.
- 5.6. Выбрать масштаб по напряжению. Построить векторную диаграмму фазных напряжений  $U_A, U_B, U_C$ . Выбрать масштаб по току, построить векторы фазных токов  $I_A, I_B, I_C$ .
- 5.7. Графически сложить фазные токи и определить ток в нейтральном проводе  $I_N$ .

Таблица 9.1

Вариант		Нагрузка фазы «А»		Нагрузка фазы «В»		Нагрузка фазы «С»	
		$R_A$	$X_A$	$R_B$	$X_B$	$R_C$	$X_C$
	$U_L$ В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	190	14,9	41,4	20	----	40	- 30
2	380	30	40	33	- 44	80	---
3	220	40	----	80	60	30,4	26
4	190	20,5	- 8	20	15	50	---
5	228	100	---	38,4	21,5	70,7	- 70,7
6	346	80	60	100	----	24	- 32
7	380	41,4	14,9	100	----	29,6	82,8
8	190	20	- 15	44	- 33	40	---
9	220	40	----	80	- 60	26	30,4
10	190	8	- 20,5	40	- 30	60	---
11	228	50	---	21,5	38,4	70,7	- 70,7
12	346	48	- 64	50	----	32	- 24
13	346	41,4	14,9	100	----	40	30
14	173	38,4	21,5	40	- 30	50	---
15	220	40	- 30	20	---	16	12

## 6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

## 7. Контрольные вопросы

- 7.1. Что понимают под фазным напряжением?
- 7.2. Что понимают под линейным напряжением?
- 7.3. При каких условиях в трёхфазной цепи, соединённой звездой, появляется напряжение смещения нейтрали?
- 7.4. От чего зависит величина напряжения смещения нейтрали?
- 7.5. Что такое «перекос фаз»?
- 7.6. Каково назначение нейтрального провода?
- 7.7. Как определяются напряжения на фазах приемника энергии при наличии напряжения смещения нейтрали?
- 7.8. Как определяются фазные токи?
- 7.9. Как определяется ток в нейтральном проводе?
- 7.10. Как определяются линейные токи?

# **РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ, СОЕДИНЕННОЙ ТРЕУГОЛЬНИКОМ**

## **1. Цели работы**

1.1. Приобретение практических навыков расчета и анализа работы трехфазной электрической цепи при несимметричной нагрузке, соединённой треугольником.

1.2. Приобретение практических навыков построения векторных диаграмм

## **2. Обеспечивающие средства**

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы;

2.3. Чертёжные инструменты

## **3. Литература**

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 11.3

## **4. Задание**

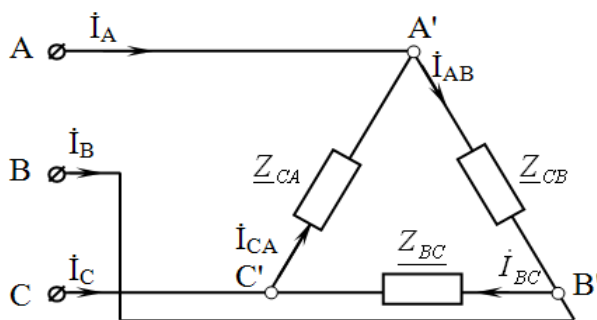


Рисунок 10.1 Трёхфазная нагрузка, соединённая треугольником

Несимметричная трехфазная нагрузка соединена треугольником. Данные своего варианта взять из таблицы 10.11 ( $X_L > 0$ ;  $X_C < 0$ ).

Определить фазные напряжения на приемниках энергии  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ , фазные токи  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$ , линейные токи  $I_A, I_B, I_C$ ; мощности, потребляемые каждой фазой приёмника, и мощность всей цепи (активную, реактивную и полную).

Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов.

\* Определить фазные и линейные токи в тех же приемниках энергии при условии обрыва линейного провода В.

## **5. Технология работы**

5.1. Изобразить схему трёхфазной нагрузки, соединенной треугольником, в соответствии с данными своего варианта.

5.2. Вычислить значение фазного напряжения  $U_{\phi}$ .

5.3. Определить полные сопротивления фаз  $Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA}$ .

5.4. Вычислить по закону Ома фазные токи  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$ .

5.5. Определить мощности, потребляемые каждой фазой приёмника, и мощность всей цепи (активную, реактивную и полную).

5.6. Выбрать масштаб по напряжению. Построить векторную диаграмму фазных напряжений  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ . Выбрать масштаб по току, построить векторы фазных токов  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$ . Графически по первому закону Кирхгофа найти линейные токи  $I_A, I_B, I_C$ .

5.7. Используя масштаб, определить линейные токи  $I_A, I_B, I_C$ .

## **6. Требования к отчёту**

6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.

6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.



### 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

Таблица 10.1

Вариант	$U_L$	$R_{AB}$	$R_{BC}$	$R_{CA}$	$X_{AB}$	$X_{BC}$	$X_{CA}$
	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	200	15	7	48	14,9	41,4	20
2	220	33	24	12,8	30	40	33
3	200	15,2	16	17,2	40	----	80
4	110	8	41	14	20,5	- 8	20
5	150	20	30	14,1	100	---	38,4
6	350	30	14	96	80	60	100
7	330	15	49,5	17,9	41,4	14,9	100
8	240	85	40	97,5	20	- 15	44
9	250	20	24	14	40	----	80
10	350	44	49,5	17,9	8	- 20,5	40
11	150	30	24	36	50	---	21,5
12	180	24	30	13	48	- 64	50
13	200	12	20	15,2	41,4	14,9	100
14	380	70.7	80	40	38,4	21,5	40
15	400	30,4	20	32	40	- 30	20

### 7. Контрольные вопросы

7.1. Что понимают под симметричной системой ЭДС?

7.2. Что понимают под симметричной нагрузкой?

7.3. Записать соотношение фазных и линейных напряжений при соединении приемников энергии треугольником.

7.4. Как определяются фазные токи при симметричной нагрузке, соединённой треугольником?

7.5. Как определяются линейные токи при симметричной нагрузке, соединённой треугольником?

7.6. Как определяются фазные токи при несимметричной нагрузке, соединённой треугольником?

7.7. Как определяются линейные токи при несимметричной нагрузке, соединённой треугольником?

7.8. Как определяется полная мощность несимметричной нагрузки, соединённой треугольником?

7.9. Как влияет на режим работы симметричной нагрузки, соединённой треугольником, обрыв одной из фаз (например «BC»)?

7.10. Как влияет на режим работы симметричной нагрузки, соединённой треугольником, обрыв линейного провода (например «В»)?

## **РАСЧЕТ УСТРОЙСТВ РАСШИРЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

### **1. Цели работы**

1.1. Приобретение практических навыков расчёта устройств для расширения пределов измерения.

1.2. Определение показаний приборов, работающих с измерительными трансформаторами

### **2. Обеспечивающие средства**

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы;

2.3. Чертёжные инструменты

### **3. Литература**

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. В.М.Прошин «Электротехника», §§ 5.4.1-5.4.3

### **4. Задание**

4.1. Амперметр, имеющий внутреннее сопротивление  $R_A=2$  Ом и предел измерения 5 А, необходимо использовать для измерения тока до 500 А. Определить сопротивление шунта прибора  $R_{ш}$  величину тока в измеряемой цепи, если показание прибора  $I_X=4,2$  А. Нарисовать схему включения прибора с шунтом.

4.2. Номинальное напряжение вольтметра  $U_V=50$  В, внутреннее сопротивление  $R_V=20$  кОм. Определить сопротивление добавочного резистора  $R_0$ , при подключении которого предел измерения вольтметра увеличится в 6 раз. Найти также показание прибора  $U_X$ , если напряжение на нагрузке  $U=280$  В. Нарисовать схему включения прибора с добавочным резистором.

4.3. Амперметр с пределом измерения  $I_A=5$  А, вольтметр с пределом измерения  $U_V=100$  В и ваттметр с номинальными параметрами  $U_H=100$  В,  $I_A=5$  А,  $N_H=100$  дел. включены через измерительный трансформатор тока ТТ 80/5. Нарисовать схему включения приборов. Определить действующие значения тока в нагрузке  $I$  напряжения  $U$ , активную мощность  $P$ , если показания приборов  $I_X=4$  А,  $U_X=75$  В,  $N_X=40$  дел.

### **5. Технология работы**

5.1. Построить измерительную цепь в указанных задачах.

5.2. Определить коэффициент расширения по измеряемой величине, если применяются шунты или добавочные резисторы.

5.3. Определить коэффициент трансформации, если приборы включены через измерительные трансформаторы.

5.4. Рассчитать значения измеряемых величин с учётом найденных коэффициентов.

### **6. Требования к отчёту**

6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.

6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.

6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

### **7. Контрольные вопросы**

7.1. Назначение шунтов.

7.2. Схемы включения шунтов, в том числе многопредельных шунтов.

7.3. Виды шунтов.

7.4. Назначение добавочного резистора.

7.5. Схема включения и обозначение обмоток измерительных трансформаторов напряжения.

7.6. Схема включения и обозначение обмоток измерительных трансформаторов тока.

7.7. Особенности включения нескольких приборов, реагирующих на напряжение, в цепь измерительного трансформатора напряжений.

7.8. Особенности включения нескольких приборов, реагирующих на ток, в цепь измерительного трансформатора тока.

**ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ В ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ**

**1. Цели работы**

- 1.1. Приобретение навыков составления измерительных схем.
- 1.2. Определение параметров цепи по показаниям приборов

**2. Обеспечивающие средства**

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы;
- 2.3. Чертёжные инструменты

**3. Литература**

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. В.М.Прошин «Электротехника», §§ 5.4.1-5.4.3

**4. Задание**

4.1. Трёхфазная симметричная нагрузка соединена звездой по трёхпроводной схеме. Для измерения активной мощности применяется схема одного ваттметра, который включается в фазу «В». Номинальные параметры ваттметра  $U_H=150$  В,  $I_H=2$  А,  $N_H=50$  дел. Показание прибора  $N_X=40$  дел. Изобразить схему включения ваттметра. Определить активную мощность нагрузки  $P$ .

\*Составить схему включения ваттметра, если рассмотренная нагрузка находится в недоступном месте. Определить параметры схемы, если известно, что внутренние сопротивления обмоток ваттметра  $R_I=2$  Ом,  $R_U=20$  кОм.

4.2. Для измерения активной мощности асинхронного двигателя, обмотки которого соединены по схеме «треугольник», применяется схема одного ваттметра, который включается в фазу «ВС». Номинальные параметры ваттметра  $U_H=300$  В,  $I_H=10$  А,  $N_H=50$  дел. Показание прибора  $N_X=36$  дел. Изобразить схему включения ваттметра. Определить активную мощность нагрузки  $P$ .

\*Каким будет показание ваттметра, если его переместить в линию «В»?

4.3. Для измерения активной мощности трёхфазной нагрузки, соединённой звездой, применяется схема трёх ваттметров с номинальными параметрами  $U_H=300$  В,  $I_H=5$  А,  $N_H=50$  дел. Изобразить схему включения ваттметров. Определить активную мощность нагрузки, если показания ваттметров  $N_1=28$  дел.,  $N_2=40$  дел.,  $N_3=15$  дел.

4.4. Для измерения активной мощности трёхфазной нагрузки, соединённой треугольником, применяется схема двух ваттметров с номинальными параметрами  $U_H=150$  В,  $I_H=5$  А,  $N_H=50$  дел. Токовые обмотки ваттметров включаются в линии «В» и «С». Изобразить схему включения ваттметров. Определить активную мощность нагрузки, если показания ваттметров  $N_1=40$  дел.,  $N_2=24$  дел.

**5. Технология работы**

- 5.1. Построить измерительную цепь в указанных задачах.
- 5.2. Определить цену деления ваттметра  $C_W$ .
- 5.3. Определить мощность, измеряемую приборами.
- 5.4. Рассчитать мощность трёхфазной нагрузки.

**6. Требования к отчёту**

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

**7. Контрольные вопросы**

- 7.1. Предел измерения ваттметра.
- 7.2. Цена деления ваттметра.

7.3. Область применения схемы одного ваттметра при измерении мощности в трёхфазной цепи.

7.4. Область применения схемы двух ваттметров при измерении мощности в трёхфазной цепи.

7.5. Область применения схемы трёх ваттметров при измерении мощности в трёхфазной цепи.

7.6. Схема включения одного ваттметра при расположении нагрузки в недоступном месте.

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 13

2 часа

## РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ С ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ

### 1. Цели работы

Определение параметров схем с выпрямителями

### 2. Обеспечивающие средства

2.1. Методические указания по выполнению практической работы;

2.2. Калькуляторы;

2.3. Чертёжные инструменты

### 3. Литература

3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]

3.2. В.М.Прошин «Электротехника», §§ 6.2.1-6.2.4

### 4. Задание

Выполните задания, указанные в таблице по вариантам.

Таблица заданий по вариантам

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Задание	1,21,31	2,22,32	3,23,33	4,24,34	5,25,35	6,26,36	7,27,37	8,28,38	9,29,39	10,30,40

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Задание	11,25, 35	12,26, 36	13,27, 37	14,28, 38	15,29, 39	16,30, 40	17,21, 31	18,22, 32	19,23, 33	20,24, 34

**Задание 1.** Составьте схему мостового выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в таблице 13.5. Определите амплитуду переменного напряжения. Мощность потребителя  $P_0$  (Вт), напряжение питания  $U_0$  (В).

Данные своего варианта возьмите в таблице 13.1.

Таблица 13.1

Вариант	Тип диода	$P_0$ , Вт	$U_0$ , В	Вариант	Тип диода	$P_0$ , Вт	$U_0$ , В
1	Д7Г	80	100	6	Д207	30	100
2	Д224	200	50	7	Д302	250	150
3	Д217	150	500	8	Д243Б	300	200
4	Д305	300	20	9	Д221	250	200
5	Д214	600	80	10	Д233Б	500	400

**Задание 2.** Составьте трансформаторную схему двухполупериодного выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в таблице 13.5. Определите амплитуду переменного напряжения. Мощность потребителя  $P_0$  (Вт), напряжение питания  $U_0$  (В).

Данные своего варианта возьмите в таблице 13.2.

Таблица 13.2

Вариант	Тип диода	$P_0$ , Вт	$U_0$ , В	Вариант	Тип диода	$P_0$ , Вт	$U_0$ , В
11	Д207	20	60	16	Д209	30	100
12	Д242Б	180	30	17	Д305	150	20
13	Д222	240	180	18	Д232	1000	200
14	Д303	400	80	19	КД202А	120	15
15	Д214А	800	50	20	Д226А	80	150

**Задание 3.** Однополупериодный выпрямитель должен питать потребитель постоянным током. Определите амплитуду переменного напряжения. Мощность потребителя  $P_0$  (Вт),

напряжение питания  $U_0$  (В). Выберите один из трёх типов диодов в таблице 13.3 для схемы выпрямителя и поясните, на основании чего сделан выбор.

Данные своего варианта возьмите в таблице 13.3.

Таблица 13.3

Вариант	Тип диода	$P_0$ , Вт	$U_0$ , В	Вариант	Тип диода	$P_0$ , Вт	$U_0$ , В
21	Д242Б; Д244; Д221	50	12	26	Д211; Д226А; Д304	400	80
22	Д209; Д303; Д7Г	100	40	27	Д217; Д222; Д243Б	200	30
23	Д224Б; Д302; Д205	20	80	28	Д214А; Д243Б; КД202Н	300	60
24	Д214; КД202Н; Д215Б	70	100	29	Д244; Д214Б; Д302	70	20
25	Д243; Д214А; Д226	50	50	30	Д210; Д221; Д242	800	120

**Задание 4.** Составьте схему трёхфазного выпрямителя, используя стандартные диоды, параметры которых приведены в таблице 13.5. Определите амплитуду линейного напряжения. Мощность потребителя  $P_0$  (Вт), напряжение питания  $U_0$  (В). Выберите один из трёх типов диодов в таблице 13.4 для схемы выпрямителя и поясните, на основании чего сделан выбор.

Данные своего варианта возьмите в таблице 13.4.

Таблица 13.4

Вариант	Тип диода	$P_0$ , Вт	$U_0$ , В	Вариант	Тип диода	$P_0$ , Вт	$U_0$ , В
31	Д244Б; Д214; Д243	150	20	36	Д242А; Д226; Д231Б	400	80
32	Д218; Д221; Д214А	30	50	37	Д224А; Д242; Д303	200	30
33	Д244Б; Д302; Д205	60	40	38	КД202Н; Д243; Д214А	300	60
34	Д142А; Д222; Д215Б	150	50	39	Д214; Д214Б; Д215А	70	20
35	Д7Г; Д217; Д242Б	20	150	40	Д215; Д231; Д234Б	800	120

Таблица 13.5. Технические данные полупроводниковых диодов

Тип диода	$I_{дон}$ , А	$U_{обр}$ , В	Тип диода	$I_{дон}$ , А	$U_{обр}$ , В	Тип диода	$I_{дон}$ , А	$U_{обр}$ , В
Д7Г	0,3	200	Д221	0,4	400	Д242	5	100
Д205	0,4	400	Д222	0,4	600	Д242А	10	100
Д207	0,1	200	Д224	5	50	Д242Б	2	100
Д209	0,1	400	Д224А	10	50	Д243	5	200
Д210	0,1	500	Д224Б	2	50	Д243А	10	200
Д211	0,1	600	Д226	0,3	400	Д243Б	2	200
Д214	5	100	Д226А	0,3	300	Д244	5	50
Д214А	10	100	Д231	10	300	Д244А	10	50
Д214Б	2	100	Д231Б	5	300	Д244Б	2	50
Д215	5	200	Д232	10	400	Д302	1	200
Д215А	10	200	Д232Б	5	400	Д303	3	150
Д215Б	2	200	Д233	10	500	Д304	3	100
Д217	0,1	800	Д233Б	5	500	Д305	6	50
Д218	0,1	1000	Д234Б	5	600	КД202А	3	50

						КД202Н	1	500
--	--	--	--	--	--	--------	---	-----

### 5. Технология работы

- 5.1. Выписать технические параметры диодов из таблицы 13.5.
- 5.2. Определить ток потребителя  $I_0$ .
- 5.3. Определить действительный прямой ток, протекающий через диод.
- 5.4. Определить напряжение, действующее на диод в непроводящий период.
- 5.5. Проверить диоды по параметрам  $I_{дон}$ ,  $U_{обр}$ .
- 5.6. Если диод не проходит по току (условие не выполняется), то следует в электрическую схему выпрямителя включить два или несколько диодов, соединенных между собой параллельно.
- 5.7. Если диод не проходит по напряжению (условие не выполняется), то следует в электрическую схему выпрямителя включить два или несколько диодов, соединенных между собой последовательно.

### 6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.

### 7. Контрольные вопросы

- 7.1. Среднее выпрямленное напряжение и коэффициент пульсаций при однополупериодном выпрямлении.
- 7.2. Схема двухполупериодного трансформаторного выпрямителя, временная диаграмма напряжения на нагрузке.
- 7.3. Схема двухполупериодного мостового выпрямителя, временные диаграммы токов.
- 7.4. Среднее выпрямленное напряжение и коэффициент пульсаций при двухполупериодном выпрямлении.
- 7.5. Схема трёхфазного однополупериодного выпрямителя.
- 7.6. Схема трёхфазного двухполупериодного выпрямителя.

## ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА

### 1. Цели работы

Исследование условий получения устойчивого изображения периодически изменяющихся сигналов на экране осциллографа

### 2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Методические указания по выполнению практической работы;
- 2.2. Калькуляторы;
- 2.3. Чертёжные инструменты

### 3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. В.М.Прошин «Электротехника», §§ 5.3.1- 5.3.2

### 4. Задание

1. Изобразите блок-схему осциллографа.
2. Укажите условие получения устойчивого изображения периодически изменяющихся сигналов на экране осциллографа.

3. Изобразите осциллограмму входного синусоидального напряжения  $U_y$ , изменяющегося с частотой  $f$ . Длительность развёртки  $T_x$ . Данные по вариантам в табл. 14.1.

Таблица 14.1

Вариант	1	2	3	4	5	6
$T_x, мс$	5	8	5	20	10	20
$f, Гц$	200	250	400	100	400	50

4. На вход осциллографа  $U_y$  подаётся импульсный сигнал. Определите количество импульсов на экране осциллографа. Длительность импульса  $t$ , частота следования импульсов  $f_{имп}$ . Частота развёртки  $f_x$ . Данные по вариантам в табл. 14.2. Изобразите осциллограмму исследуемого сигнала во временном масштабе.

Таблица 14.2

Вариант	1	2	3	4	5	6
$t, мс$	2	3	1	4	2	5
$f_{имп}, Гц$	250	100	400	100	200	50
$f_x, Гц$	50	40	200	100	100	25

### 5. Технология работы

5.1. Изобразите блок-схему осциллографа, укажите на схеме основные функциональные элементы осциллографа и электронно-лучевой трубки.

5.2. Укажите соотношение между периодами исследуемого сигнала и пилообразного напряжения развёртки, при котором получается устойчивое изображение периодически изменяющихся сигналов на экране осциллографа.

5.3. Определите соотношение между периодами исследуемого сигнала и пилообразного напряжения развёртки.

5.4. Выберите масштаб  $m_t$  по горизонтальной оси, чтобы отложить период развёртки.

5.5. Изобразите на графике исследуемый сигнал в том же временном масштабе.

### 6. Требования к отчёту

- 6.1. Схему электрической цепи выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.2. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.3. Размеры величин указывать в системе СИ.



## **7. Контрольные вопросы**

- 7.1. Назначение осциллографа.
- 7.2. Форма напряжения, вырабатываемого генератором развёртки.
- 7.3. Условие получения устойчивого изображения периодически изменяющихся сигналов на экране осциллографа.
- 7.4. Как осуществляется синхронизация осциллографа?

## Используемые источники

### Основная литература:

1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс] : учебник / С. М. Аполлонский. – М. : КноРус, 2018. — 292 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа : <https://www.book.ru/book/928016>
2. Аполлонский С.М. Электротехника. Практикум [Электронный ресурс] : практикум / С. М. Аполлонский. – М. : КноРус, 2018. – 318 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа : <https://www.book.ru/book/927853>
3. Мартынова И. О. Электротехника [Электронный ресурс] : учебник / И. О. Мартынова. – М. : КноРус, 2019. — 304 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа : <https://www.book.ru/book/930233>

### Дополнительная литература:

1. Данилов И. А. Общая электротехника : В 2-х ч. Ч. 1 : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / И. А. Данилов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Изд. Юрайт, 2018. – 426 с.
2. Данилов И. А. Общая электротехника : В 2-х ч. Ч. 2 : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / И. А. Данилов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Изд. Юрайт, 2018. – 251 с.
3. Немцов М. В. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] : учебник для студ. учреждений сред. проф. учеб. заведений/ М. В. Немцов. – М. : ИЦ Академия, 2017. – 568 с. – Режим доступа : <http://www.academia-moscow.ru>.
4. Прошин В. С. Рабочая тетрадь к лабораторно-практическим работам по электротехнике : учеб. пособие для студ. учреждений нач. проф. образования / В. С. Прошин. – 9-е изд., стер. – М. : ИЦ Академия, 2014. – 80 с.
5. Прошин В. М. Электротехника для неэлектротехнических профессий [Электронный ресурс] : учебник для студ. учреждений сред. проф. учеб. заведений/ В. М. Прошин. – М. : ИЦ Академия, 2017. – 464 с. – Режим доступа : <http://www.academia-moscow.ru>.
6. Фуфаева Л. И. Электротехника : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л. И. Фуфаева. – 4-е изд., стер. – М. : ИЦ Академия, 2015. – 384 с.

### Интернет-ресурсы:

1. Усольцев, А.А. Лекция по электротехнике / А.А.Усольцев [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.youtube.com/watch?v=-NKZNUUzR-Q> (дата обращения : 18.08.2018).
2. Конденсатор в цепи переменного тока / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.youtube.com/watch?v=sCdYxwld3aA> (дата обращения : 21.08.2018).
3. Закон Ома простыми словами / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.youtube.com/watch?v=ZB-YvMrKS44> (дата обращения : 28.08.2018).