



## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ 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 указания по выполнению лабораторных работ по 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)*

УТВЕРЖДАЮ

Зам.директора по УМР

\_\_\_\_\_ Е.А. Метелькова

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор: Дементьева О.К., преподаватель  
ОГБПОУ «Томский политехнический техникум»

Одобрено цикловой методической комиссией  
общепрофессиональных дисциплин

Протокол № \_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Председатель ЦМК \_\_\_\_\_ Л.В. Петлина

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Лабораторная работа № 1	
ОЗНАКОМЛЕНИЕ С КОМПЛЕКТОМ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	5
Лабораторная работа №2	
ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ РЕЗИСТОРОВ.....	8
Лабораторная работа № 3	
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ РЕЗИСТОРОВ...	10
Лабораторная работа № 4	
ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ СМЕШАННОМ СОЕДИНЕНИИ РЕЗИСТОРОВ .....	12
Лабораторная работа № 5	
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОСТОЯННОМ ТОКЕ .....	15
Лабораторная работа № 6	
ЦЕПЬ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ $R$ , $L$ и $C$ .....	17
Лабораторная работа № 7	
ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ И КОНДЕНСАТОРА .....	20
Лабораторная работа № 8	
ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ЗВЕЗДОЙ .....	23
Лабораторная работа № 9	
ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ТРЕУГОЛЬНИКОМ .....	26
Лабораторная работа № 10	
ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛИТРОНА.....	29
Лабораторная работа № 11	
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ.....	32
Лабораторная работа № 12	
МОСТОВОЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ.....	35
Используемые источники .....	37

## ВВЕДЕНИЕ

Данное пособие предназначено для преподавателей и студентов специальностей *21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений; 21.02.11 Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (МПИ)* при организации и проведении лабораторных занятий по дисциплине «Электротехника» на типовом лабораторном оборудовании ЭЦОЭ.002.РБЭ. В пособии представлены методические указания по выполнению двенадцати лабораторных работ, охватывающих основные разделы электротехники:

- электрические цепи постоянного тока;
- электрические цепи переменного синусоидального тока;
- трёхфазные электрические цепи/

В процессе выполнения лабораторных работ вырабатываются навыки по использованию измерительных приборов, сборке электрических схем, по изучению особенностей эксплуатации отдельных электротехнических устройств, выбору режимов работы электрооборудования.

В каждой лабораторной работе указаны цель, время выполнения, обеспечивающие средства, литература для теоретической подготовки, задание, контрольные вопросы для самопроверки и контроля теоретической подготовки, технология работы.

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехника» для специальности *21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений; 21.02.11 Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (МПИ)* содержат структурированный учебно-методический материал, предназначенный для формирования необходимых практических навыков работы с электрическими и устройствами, а также для формирования навыков использования теоретических знаний при решении практических задач. Это способствует в дальнейшем (на старших курсах) успешному овладению профессиональными компетенциями и видами профессиональной деятельности в соответствии с требованиями ФГОС к уровню подготовки выпускников указанных специальностей.

Методические указания по выполнению лабораторных работ составлены в соответствии с требованиями ФГОС к практическим навыками умениям, способствуют формированию общих и профессиональных компетенций.

## Лабораторная работа № 1

2 часа

### ОЗНАКОМЛЕНИЕ С КОМПЛЕКТОМ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

#### 1. Цели работы

Изучение общей компоновки лабораторного стенда; изучение основных функциональных блоков, их назначения и особенностей эксплуатации.

Экспериментальная проверка работоспособности отдельных блоков и приборов.

Приобретение навыков включения измерительных приборов в цепь и получения результатов измерения сопротивлений, токов, напряжений и мощностей

#### 2. Обеспечивающие средства

2.1. Лабораторный стенд;

2.2. Резистор 100 Ом, выключатель «В»;

2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы;

#### 3. Литература

3.1. Руководство по выполнению базовых экспериментов ЭЦОЭ.002 РБЭ, стр. 8-19;

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

#### 4. Задание

4.1. Проверить экспериментально работоспособность лабораторной установки с помощью амперметра и вольтметра согласно принципиальной схеме рис. 1.1.

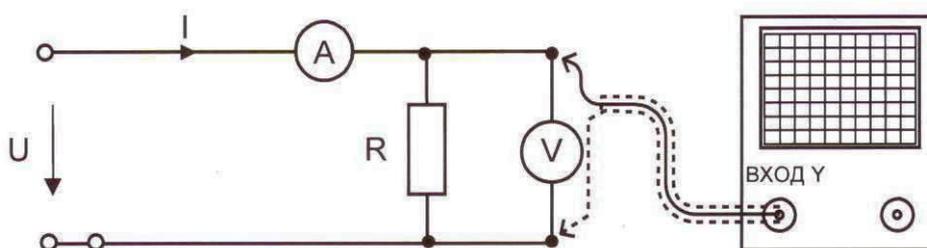


Рисунок 1.1. Принципиальная схема 1

4.2. По экспериментальным данным вычислить сопротивление резистора  $R$ , сравнить с номинальным значением.

4.3. Ознакомиться на опыте с порядком измерения токов, напряжений и сопротивлений с помощью мультиметра, и мощности - с помощью ваттметра.

4.4. Получить экспериментальное подтверждение выполнения законов Ома и Джоуля-Ленца в электрической цепи постоянного тока.

#### 5. Технология работы

5.1. Соберите цепь согласно схеме рис. 1.1, включите в неё резистор с номинальным значением сопротивления  $R=100$  Ом и источник нерегулируемого постоянного напряжения  $+15$  В. Установите предел измерения вольтметра  $U_{\text{в}}=20$  В, предел измерения амперметра  $I_{\text{в}}=200$  мА.

5.2. **В присутствии преподавателя** подайте питание на схему, снимите показания приборов, занесите их в таблицу 1 (Измеренные значения). Отключите питание и разберите схему.

5.3. Определите сопротивление резистора  $R_{\text{по}}$  по закону Ома для участка электрической цепи, полученный результат внесите в таблицу 1.1 (Вычисленное значение).

5.4. С помощью соединительных проводов подключите к зажимам мультиметра «Ω» резистор  $R=100\text{ Ом}$ , установите с помощью переключателя рода работ ближайший превышающий измеряемое сопротивление предел измерения, включите блок мультиметров, запишите показание мультиметра  $R_{\text{ИЗМ}}$  и номинальное сопротивление  $R_{\text{НОМ}}$ , указанное на этикетке миниблока (резистора):

$$R_{\text{ИЗМ}} = \dots\dots\text{Ом}; \quad R_{\text{НОМ}} = \dots\dots\text{Ом}.$$

5.5. Соберите цепь в соответствии с принципиальной схемой 2 (Рис. 1.2) и монтажной схемой (Рис. 1.3), установив сопротивление  $R_{\text{НОМ}} = 100\text{ Ом}$ . Установите пределы измерения вольтметра  $U = 20\text{ В}$ , амперметра  $I = 200\text{ мА}$ .

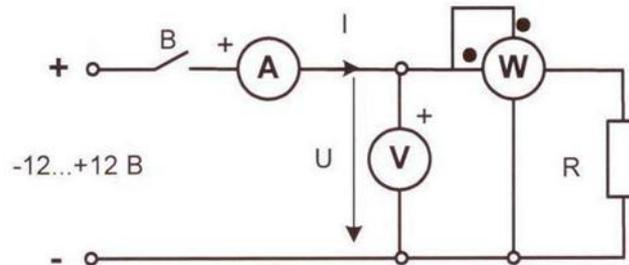


Рисунок 1.2. Принципиальная схема 2

5.6. Убедитесь, что при включении выключателя «В» в цепи появляется ток, а при выключении – исчезает.

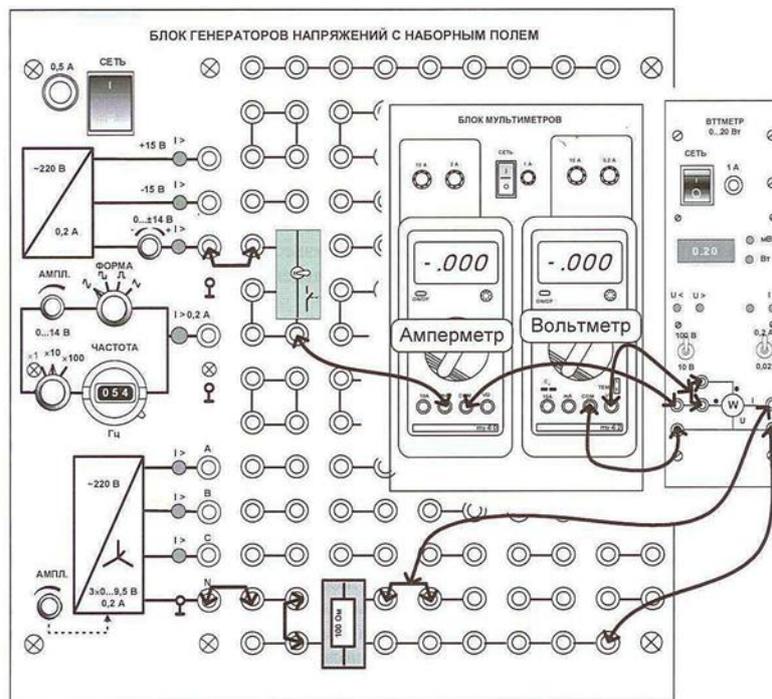


Рисунок 1.3. Монтажная схема

5.7. Устанавливая регулятором напряжения значения, указанные в табл. 1.2, снимите показания приборов и запишите в таблицу.

**Следить за сигнальными светодиодами ваттметра! При включении светодиода  $I >$  или  $U >$  перевести соответствующий переключатель на больший предел. При включении светодиода  $I <$  или  $U <$  перевести соответствующий переключатель на меньший предел. Следить также за светодиодами, указывающими размерность измеряемой мощности: Вт или мВт.**

5.8. Вычислите значения мощности  $P$  и запишите результаты в столбцы таблицы 1.2 «Вычисленные значения». Сравните результаты вычислений и измерений мощности.

### 6. Требования к отчёту

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи (рис.1.1), таблицу 1.1, принципиальную схему электрической цепи (рис. 1.2), таблицу 1.2, необходимые расчёты.

Таблица 1.1

R, Ом (номинальное)	Измеренные значения			Вычисленное значение
	U, В	I, мА	R, Ом	R, Ом
100				

Таблица 1.2

R <sub>ном</sub> , Ом	Измеренные значения			Вычисленные значения
	U, В	I, мА	P, мВт	P, мВт
.....	-5			
	4			
	8			
	12			

6.2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.

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

6.4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

### 7. Контрольные вопросы

7.1. Устройство лабораторной установки и назначение её основных блоков.

7.2. Указать, какими клеммами подключается мультиметр для измерения постоянного напряжения. Указать переключатель пределов измерения постоянного напряжения.

7.3. Указать, какими клеммами подключается мультиметр для измерения постоянного тока. Указать переключатель пределов измерения постоянного тока.

7.4. Закон Ома для участка электрической цепи.

7.5. Закон Джоуля-Ленца.

7.6. Как влияет величина тока в цепи на потребляемую мощность?

7.7. Каким должно быть сопротивление вольтметра, чтобы он не влиял на режим работы электрической цепи?

7.8. Каким должно быть сопротивление амперметра, чтобы он не влиял на режим работы электрической цепи?

7.9. Схемы включения вольтметра, амперметра, омметра и ваттметра.

7.10. Особенности режимов работы электрической цепи: номинального, холостого хода, короткого замыкания.

## Лабораторная работа № 2

2 часа

### ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ РЕЗИСТОРОВ

#### 1. Цель работы

Исследование свойств последовательно соединённых резисторов

#### 2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Лабораторный стенд;
- 2.2. Миниблоки «Амперметр» - 3 шт., резисторы 47 Ом, 100 Ом и 220 Ом;
- 2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

#### 3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И. Фуфаева «Электротехника», §§ 2.8, 2.9, 3.2

#### 4. Задание

Измеряя токи и напряжения, убедиться, что ток одинаков в любой точке цепи с последовательным соединением резисторов, и что сумма частичных напряжений (на отдельных резисторах) равна напряжению, приложенному ко всей цепи.

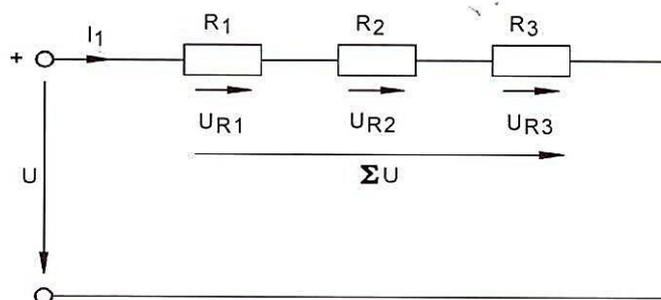


Рис. 2.1. Последовательное соединение резисторов

#### 5. Технология работы

- 5.1. Соберите цепь согласно принципиальной схеме (Рис. 2.1) и монтажной схеме (Рис. 2.2). Используйте источник напряжения «+15 В». Последовательно с резисторами  $R_1 = 47 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 100 \text{ Ом}$  и  $R_3 = 220 \text{ Ом}$  установите миниблоки для подключения амперметра.

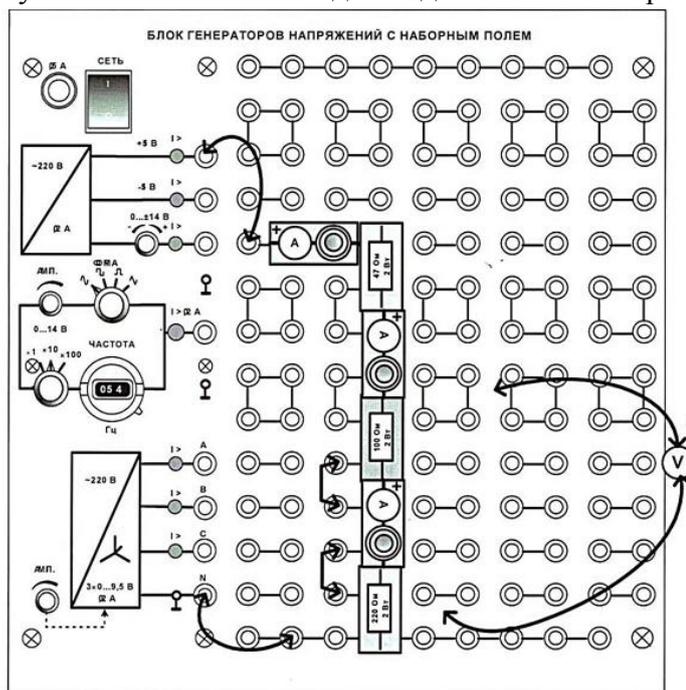


Рис. 2.2. Монтажная схема

5.2. С помощью двухжильного кабеля со штекером поочерёдно подключайте к этим миниблокам мультиметр в режиме измерения тока, установив предел измерения  $I_{\text{н}}=200$  мА, и измерьте ток вдоль всей электрической цепи. Убедитесь, что ток имеет одно и то же значение и запишите его в таблицу 2.1 (Измеренные значения).

5.3. Измерьте напряжение на каждом резисторе, установив предел измерения  $U_{\text{н}}=20$  В, а также полное напряжение на входе цепи. Результаты измерений занесите в таблицу 2.1.

5.4. Рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи  $R_{\text{экв}}$  по номинальным значениям сопротивлений резисторов  $R_1 = 47$  Ом,  $R_2 = 100$  Ом и  $R_3 = 220$  Ом, силу тока  $I$  при  $U = 15$  В, и падения напряжений  $U_1, U_2, U_3$  на каждом резисторе. Результаты занесите в таблицу 2.1 и сравните с измеренными значениями.

Таблица 2.1

	Ток $I, \text{мА}$	Падения напряжения на резисторах			Напряжение на входе цепи
		(47 Ом) $U_1, \text{В}$	(100 Ом) $U_2, \text{В}$	(220 Ом) $U_3, \text{В}$	$U, \text{В}$
Измеренные значения					
Рассчитанные значения					

5.5. Проверьте выполнение второго закона Кирхгофа по экспериментальным и по расчётным значениям напряжений:

$$U_{\text{изм}} = U_1 + U_2 + U_3$$

$$U_{\text{расч}} = U_1 + U_2 + U_3$$

5.6. Сделайте вывод по результатам эксперимента.

### 6. Требования к отчёту

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицу, необходимые расчёты.

6.2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.

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

6.4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

### 7. Контрольные вопросы

7.1. Свойства последовательного соединения резисторов.

7.2. Закон Ома для полной электрической цепи.

7.3. Баланс напряжений.

7.4. Баланс мощностей. Мощность источника, мощность приёмника.

7.5. Мощность приёмника по закону Джоуля-Ленца.

7.6. На котором из двух последовательно соединённых резисторов с разным сопротивлением напряжение больше?

7.7. Какой из двух последовательно соединённых резисторов с разным сопротивлением потребляет меньшую мощность?

7.8. Как изменится напряжение на участках  $R_2$  и  $R_3$ , если участок  $R_1$  замкнуть накоротко (участки соединены последовательно)?

## Лабораторная работа № 3

2 часа

### ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ РЕЗИСТОРОВ В ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

#### 1. Цель работы

Исследование свойств параллельно соединённых резисторов

#### 2. Обеспечивающие средства

2.1. Лабораторный стенд;

2.2. Коммутационные миниблоки «Амперметр» - 4 шт., резисторы 330 Ом, 220 Ом и 470

Ом

2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

#### 3. Литература

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

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

#### 4. Задание

Измеряя напряжения и токи в параллельной цепи, убедиться, что напряжение, прикладываемое к каждому резистору, одинаково, а сумма токов ветвей равна полному току цепи. Проверить результаты измерения расчётом.

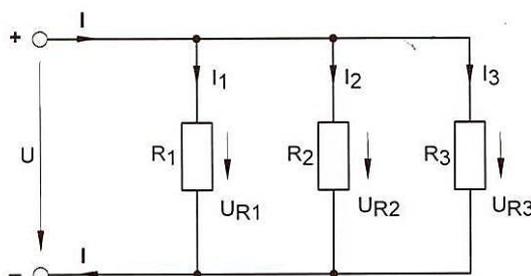


Рис. 3.1. Параллельное соединение резисторов

#### 5. Технология работы

5.1. Соберите цепь согласно принципиальной схеме (Рис. 3.1) и монтажной схеме (Рис. 3.2). Используйте источник напряжения «+15 В». Включите специальные миниблоки для подключения амперметра последовательно с каждым из резисторов  $R_1 = 330$  Ом,  $R_2 = 220$  Ом и  $R_3 = 470$  Ом.

5.2. Измерьте напряжение на каждом резисторе, установив предел измерения  $U_{\text{н}} = 20$  В, а также напряжение на источнике. Убедитесь, что все они одинаковы, и запишите значение напряжения в таблицу 3.1.

5.3. С помощью мультиметра, специального кабеля со штекером и миниблоков для подключения амперметра измерьте токи в каждом резисторе и на входе цепи, установив предел измерения  $I_{\text{н}} = 200$  мА. Результаты запишите в таблицу 3.1 (Измеренные значения).

Таблица 3.1

	Напряжение (U), В	Токи в ветвях, мА			Ток на входе цепи, мА
		330 Ом (I <sub>1</sub> )	220 Ом (I <sub>2</sub> )	470 Ом (I <sub>3</sub> )	$R_{\text{экв}} = \dots$ Ом (I)
Измеренные значения					
Рассчитанные значения					



## Лабораторная работа № 4

2 часа

### ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ СМЕШАННОМ СОЕДИНЕНИИ РЕЗИСТОРОВ

#### 1. Цель работы

Экспериментальная проверка первого и второго законов Кирхгофа и баланса мощностей

#### 2. Обеспечивающие средства

2.1. Лабораторный стенд;

2.2. Миниблоки «Амперметр» - 3 шт., резисторы 47 Ом, 100 Ом, 220 Ом и 470 Ом

2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

#### 3. Литература

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

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

#### 4. Задание

Измерить токи, напряжения и мощность в цепи при смешанном соединении резисторов (Рис. 4.1). Проверить результаты измерений расчётом. Проверить выполнение первого и второго законов Кирхгофа и выполнение баланса мощностей.

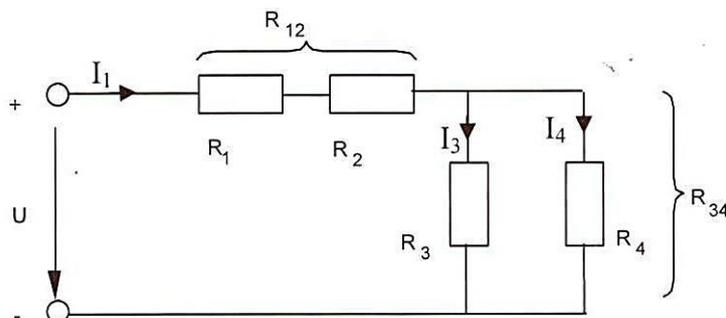


Рис. 4.1. Смешанное соединение резисторов

#### 5. Технология работы

5.1. Соберите цепь согласно принципиальной схеме 4.1 и монтажной схеме 4.2. Используйте источник напряжения «+15 В», резисторы  $R_1 = 47 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 100 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 220 \text{ Ом}$  и  $R_4 = 470 \text{ Ом}$ . В каждую из трёх ветвей схемы включите коммутационные миниблоки «Амперметр» для подключения амперметра. На входе цепи включите ваттметр для измерения полной мощности, потребляемой цепью.

5.2. Установите пределы измерения приборов  $I_{\text{н}} = 200 \text{ мА}$ ,  $U_{\text{н}} = 20 \text{ В}$ . Измерьте токи во всех ветвях, поочерёдно включая миллиамперметр в каждую ветвь цепи. Измерьте напряжения на всех элементах и мощность. Результаты измерений занесите в таблицу 4.1 в строку «Измеренные значения».

*При измерении мощности правильно выберите пределы измерения ваттметра, чтобы не светились светодиоды  $I >$  и  $I <$ .*

Таблица 4.1

	$I_1, \text{ мА}$	$I_3, \text{ мА}$	$I_4, \text{ мА}$	$U, \text{ В}$	$U_1, \text{ В}$	$U_2, \text{ В}$	$U_{34}, \text{ В}$	$P, \text{ Вт}$
Измеренные величины								
Расчётные значения								

5.3. Убедитесь, что выполняются первый и второй законы Кирхгофа, а именно:

$$I_{12} = I_3 + I_4;$$

$$U = U_1 + U_2 + U_{34}.$$

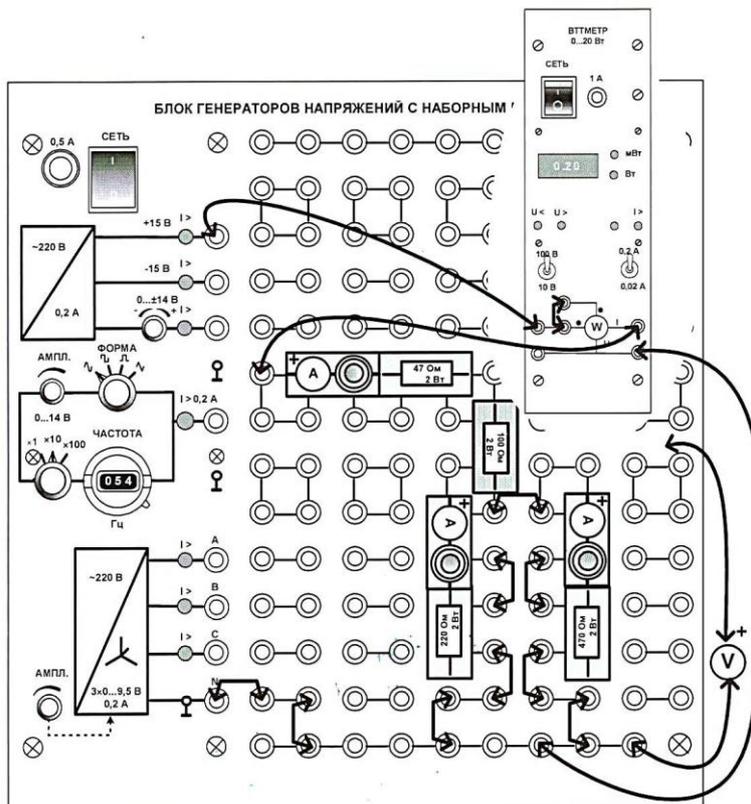


Рис. 4.2. Монтажная схема

5.4. Выполните расчёт параметров электрической цепи (Рис. 4.1) при  $U = 15 \text{ В}$  и номинальных значениях сопротивлений  $R_1, R_2, R_3, R_4$ .

5.4.1. Рассчитайте токи и напряжения на всех элементах, занесите результаты в таблицу 4.1 в строку «Расчётные значения» и сравните их с экспериментальными данными.

5.4.2. Проверьте по расчётным значениям выполнение первого и второго законов Кирхгофа:

$$I_{12} = I_3 + I_4;$$

$$U = U_1 + U_2 + U_{34}$$

5.4.3. Определите мощность, потребляемую каждым резистором  $P_1, P_2, P_3, P_4$ , и найдите сумму мощностей потребителей.

$$\sum P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = \dots \text{Вт}$$

5.4.4. Вычислите мощность, отдаваемую источником,  $P = U \cdot I = \dots \text{Вт}$ . Занесите это значение в таблицу 4.1 и сравните с мощностью, измеренной ваттметром.

5.4.5. Убедитесь, что она примерно равна сумме мощностей потребителей  $P = \sum P_i$ .

### 6. Требования к отчёту

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицу, необходимые расчёты.

6.2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.

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

6.4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

### 7. Контрольные вопросы

7.1. При каком способе соединения резисторов уменьшается эквивалентное сопротивление?

7.2. Два резистора сопротивлением  $R$  соединены последовательно. Параллельно одному из резисторов подключили резистор сопротивлением  $R/2$ . Как изменится эквивалентное сопротивление всей цепи?

7.3. Как изменится величина тока при неизменном напряжении питания, если увеличить количество последовательно соединённых резисторов.

7.4. Как изменится величина тока при неизменном напряжении питания, если последовательное соединение трёх резисторов заменить на их параллельное соединение?

7.5. Как изменится мощность нагрузки, если увеличить количество работающих параллельно лампочек?

## Лабораторная работа № 5

2 часа

### СНЯТИЕ ВАХ НЕЛИНЕЙНОГО ЭЛЕМЕНТА

#### 1. Цель работы

Экспериментальное снятие вольт-амперных характеристик (ВАХ) нелинейных элементов на постоянном токе

#### 2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Лабораторный стенд;
- 2.2. Резистор 220 Ом, лампа накаливания, стабилитрон и полупроводниковый диод;
- 2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

#### 3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И. Фуфаева «Электротехника», §§ 4.1-4.2

#### 4. Задание

Снять экспериментально и построить ВАХ лампы накаливания, стабилитрона и полупроводникового диода.

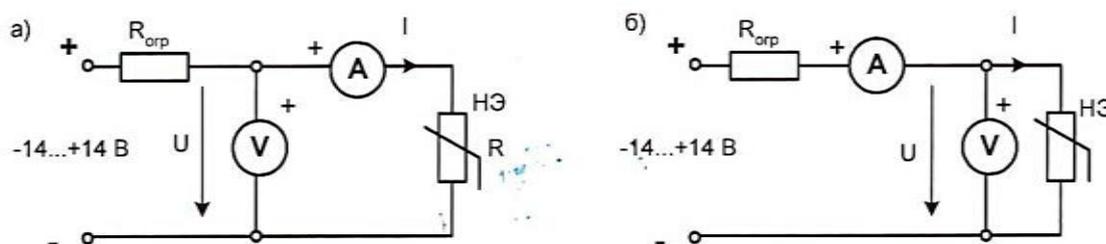


Рис. 5.1. Схемы измерения: а) с погрешностью по напряжению;  
б) с погрешностью по току

#### 5. Технология работы

5.1. Для снятия ВАХ лампы накаливания соберите цепь согласно принципиальной схеме 5.1.а, которая называется схемой измерения с погрешностью по напряжению и используется в случае, когда сопротивление испытуемого элемента велико по сравнению с сопротивлением амперметра. Монтажная схема изображена на рис. 5.2. Используйте регулируемый источник постоянного напряжения «0...14 В».

**Обратите внимание, что вольтметр и амперметр в этой схеме своими положительными клеммами подключены к точке «А» (Рис. 5.2).**

5.2. Изменяя ток в цепи, как показано в таблице 5.1, измерьте соответствующие значения напряжения на лампе, запишите в табл. 5.1 и постройте график ВАХ лампы накаливания  $i_1 = f_1(u)$  в масштабе  $M_I = 10 \text{ mA/cm}$ ,  $M_U = 1 \text{ V/cm}$ .

Таблица 5.1

$I_1, \text{ mA}$	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
$U, \text{ B}$									

5.3. Замените лампу накаливания стабилитроном, соблюдая полярность, показанную на рис. 5.2, и снимите его ВАХ  $i_2 = f_2(u)$ , устанавливая либо напряжения, либо токи, указанные в табл. 5.2.

Таблица 5.2

$I_2, \text{ mA}$	-40	-20	0					4	10	20	40
$U, \text{ B}$				1	2	3	4				

Для увеличения точности при положительных напряжениях и токах вольтметр должен быть подключён к точке «А», а при отрицательных – к точке «В» (Рис. 5.2).

Подключение вольтметра к точке «В» соответствует принципиальной схеме 5.1.б, которая называется схемой измерения с погрешностью по току и используется, если сопротивление испытуемого элемента мало по сравнению с сопротивлением вольтметра. График ВАХ стабилитрона  $i_2 = f_2(u)$  постройте на той же плоскости, что и график ВАХ лампы накаливания  $i_1 = f_1(u)$ .

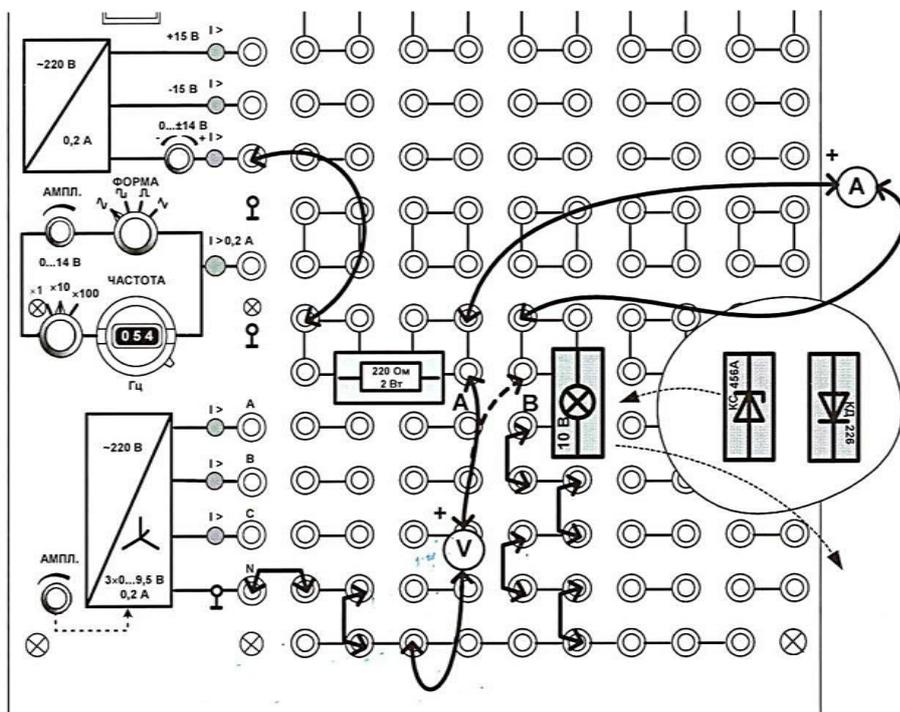


Рис. 5.2. Монтажная схема

5.4. Замените стабилитрон диодом и, устанавливая токи или напряжения, указанные в таблице 5.3, снимите его ВАХ  $i_3 = f_3(u)$ . В этом опыте, наоборот, при отрицательных напряжениях и токах вольтметр должен быть подключён к точке «А», а при положительных – к точке «В». График ВАХ диода  $i_3 = f_3(u)$  постройте на той же плоскости, что и предыдущие.

Таблица 5.3

$I_3$ , мА						2	10	20	30	40
U, В	-8	-6	-4	-2	0					

## 6. Требования к отчёту

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальные схемы электрической цепи, таблицы, графики ВАХ.

6.2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.

## 7. Контрольные вопросы

7.1. Какой элемент электрической цепи называется нелинейным?

7.2. Принцип построения суммарной ВАХ для двух последовательно соединённых нелинейных элементов.

7.3. Принцип построения суммарной ВАХ для двух параллельно соединённых нелинейных элементов.

7.4. Суть метода пересечений.

## Лабораторная работа № 6

2 часа

### ЦЕПЬ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ R, L И C

#### 1. Цель работы

Исследование электрической цепи синусоидального тока с последовательным соединением R, L и C при различном соотношении реактивных сопротивлений  $X_L$  и  $X_C$

#### 2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Лабораторный стенд;
- 2.2. Катушка индуктивности 900 витков с одной половиной разъёмного сердечника, резистор 47 Ом, конденсаторы 0,47 мкФ, 1 мкФ;
- 2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

#### 3. Литература

- 3.1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И. Фуфаева «Электротехника», §§ 9.6, 9.9

#### 4. Задание

Определить экспериментально параметры цепи с последовательным соединением R, L и C для трёх случаев,  $X_L = X_C$ ,  $X_L > X_C$  и  $X_L < X_C$ . Построить в масштабе векторные диаграммы.

#### 5. Технология работы

5.1. Измерьте омметром и запишите в отчёт активное сопротивление катушки индуктивности, имеющей 900 витков.

$$R_K = \dots \text{ Ом.}$$

5.2. Соберите цепь с резистором  $R = 47 \text{ Ом}$ , катушкой индуктивности 900 витков, которая имеет активное сопротивление  $R_K$  индуктивность  $L$ , и конденсатором  $C = 1 \text{ мкФ}$ . Принципиальная схема электрической цепи показана на рис. 6.1, а монтажная – на рис. 6.2.

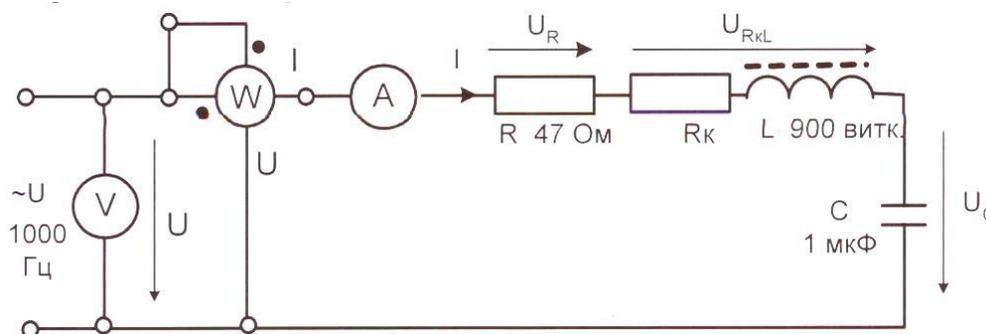


Рис. 6.1. Принципиальная схема электрической цепи

5.3. Установите переключатель сигналов генератора напряжений в положение « $\approx$ », регулятор частоты – в положение 1000 Гц и регулятор напряжения в крайнее правое положение (максимальная амплитуда).

**В присутствии преподавателя** включите генератор и, регулируя частоту, добейтесь резонанса по максимуму тока.

Измерьте мощность, ток и напряжение на входе цепи, на резисторе, на катушке с активным и индуктивным сопротивлением и на конденсаторе. Запишите эти показания приборов в строку  $X_L = X_C$  таблицы 8.1.

**При измерении мощности следите за сигнализацией ошибок в выборе пределов  $I$ ,  $I$ ,  $U$ ,  $U$ .**

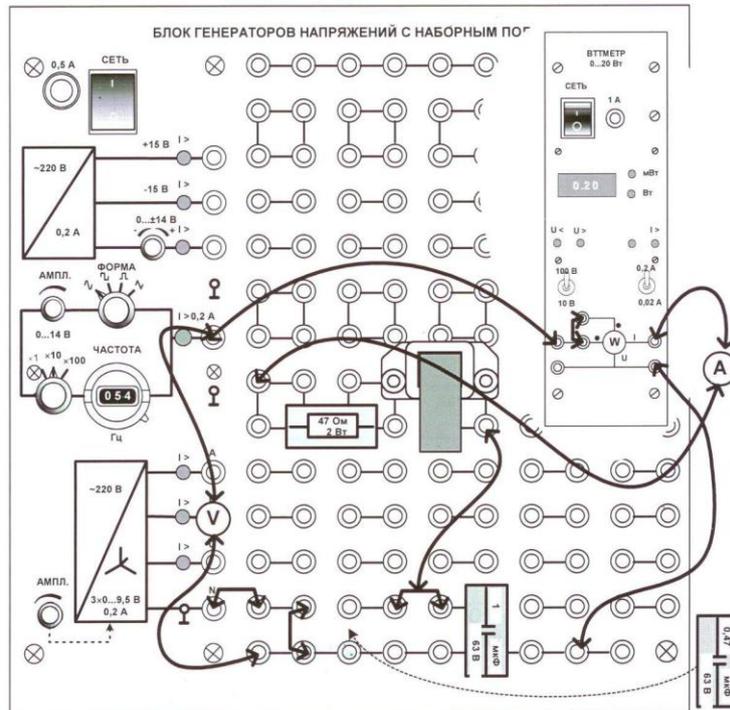


Рис. 6.2. Монтажная схема

5.4. Включите параллельно конденсатору 1 мкФ конденсатор 0,47 мкФ и запишите показания приборов в строку  $X_L > X_C$  таблицы 6.1.

5.5. Оставьте в цепи один конденсатор 0,47 мкФ и запишите показания приборов в строку  $X_L < X_C$  таблицы 6.1.

5.6. По опытным данным рассчитайте напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях катушки и занесите результаты также в табл. 6.1.

Таблица 6.1

f = .....Гц	Измерения						Вычисления	
	P, мВт	I, мА	U, В	U <sub>R</sub> , В	U <sub>RKL</sub> , В	U <sub>C</sub> , В	U <sub>RK</sub> = R <sub>K</sub> I, В	U <sub>L</sub> = √(U <sub>RKL</sub> <sup>2</sup> - U <sub>RK</sub> <sup>2</sup> ), В
C = 1 мкФ (X <sub>L</sub> = X <sub>C</sub> )								
C = 1,47 мкФ (X <sub>L</sub> > X <sub>C</sub> )								
C = 0,47 мкФ (X <sub>L</sub> < X <sub>C</sub> )								

5.7. Постройте треугольники напряжений для случаев  $X_L > X_C$ ,  $X_L = X_C$  и  $X_L < X_C$ . Масштаб напряжений  $M_U = 2 В/см$ .

5.8. По экспериментальным данным определите параметры цепи Z, φ, R, X и сведите результаты расчётов в табл. 6.2.

Таблица 6.2

	$\cos \varphi = \frac{P}{UI}$	φ, град	sin φ	Z = $\frac{U}{I}$ , Ом	R = Z cos φ, Ом	X = Z sin φ, Ом
X <sub>L</sub> = X <sub>C</sub>						
X <sub>L</sub> > X <sub>C</sub>						
X <sub>L</sub> < X <sub>C</sub>						

### **6. Требования к отчёту**

- 6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицы, векторные диаграммы, необходимые расчёты.
- 6.2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

### **7. Контрольные вопросы**

- 7.1. Как зависит от частоты индуктивное сопротивление? Формулы.
- 7.2. Как зависит от частоты ёмкостное сопротивление? Формулы.
- 7.3. Что понимают под активной мощностью? Единицы измерения.
- 7.4. Формулы активной мощности.
- 7.5. Что понимают под реактивной мощностью? Единицы измерения.
- 7.6. Формулы реактивной мощности.
- 7.7. Правила о сдвиге фаз для цепи с активным сопротивлением, индуктивностью, ёмкостью, с активно-индуктивной и активно-ёмкостной нагрузкой.
- 7.8. Полное сопротивление в цепи переменного тока (формула из треугольника сопротивлений).
- 7.9. Каковы условия для наступления в цепи резонанса напряжений?
- 7.10. Свойства резонанса напряжений?

## Лабораторная работа № 7

2 часа

### ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ И КОНДЕНСАТОРА

#### 1. Цель работы

Исследование особенностей параллельного соединения катушки и конденсатора

#### 2. Обеспечивающие средства

2.1. Лабораторный стенд;

2.2. Миниблоки «Амперметр» - 3 шт., катушка индуктивности 900 витков с одной половинойразъёмного сердечника, резистор 47 Ом, конденсаторы 0,22 мкФ, 0,47 мкФ, 1 мкФ;

Методические указания по выполнению лабораторной работы

#### 3. Литература

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

3.2. Л.И. Фуфаева «Электротехника», §§ 9.7- 9.9

#### 4. Задание

Определить экспериментально параметры катушки индуктивности, рассчитать резонансную ёмкость параллельно включённого конденсатора, снять зависимость токов в цепи от ёмкости, построить векторные диаграммы (треугольники токов) для трёх случаев  $C < C_{рез}$ ,  $C = C_{рез}$ ,  $C > C_{рез}$ .

#### 5. Технология работы

5.1. Соберите цепь, принципиальная схема которой показана на рис. 7.1а, а монтажная – на рис. 7.2, включив в каждую ветвь миниблок для подключения амперметра. В первом опыте конденсаторы не включайте.

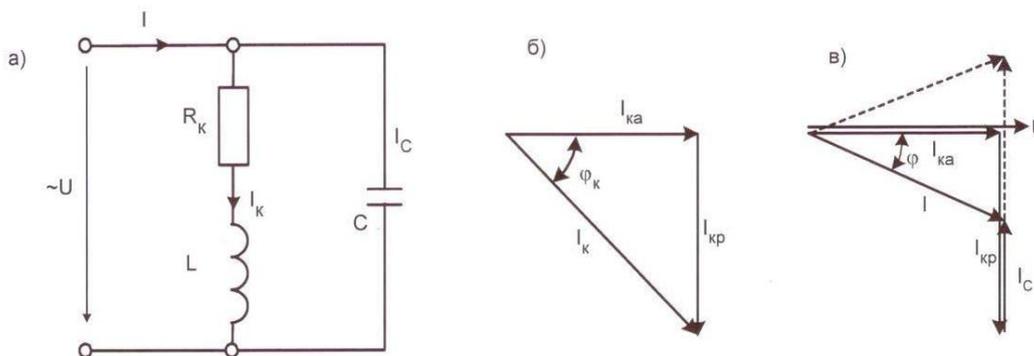


Рис. 7.1. а) Принципиальная схема параллельной цепи

б) Треугольник токов катушки индуктивности

в) Треугольник токов цепи с параллельным соединением  $L$  и  $C$

5.2. Установите частоту питающего напряжения 1000 Гц, максимальную амплитуду. Измерьте напряжение на входе цепи; ток и мощность, потребляемые цепью. Результаты измерений занесите в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Измерения			Вычисления			
$U$ , В	$I$ , мА	$P$ , мВт	$Y_k$ , 1/Ом	$\varphi_k$ , град	$B_L$	$C_{рез}$ , мкФ

5.3. Вычислите параметры катушки и ожидаемую резонансную ёмкость,  $Y_k = I/U$ ;  $\cos\varphi = P/S$ ;  $S = U \cdot I$ ;  $B_L = Y_k \cdot \sin\varphi$ ;  $B_C = \omega \cdot C$ .

5.4. Устанавливайте параллельно индуктивности поочерёдно различные конденсаторы (См. рис. 7.2) со значением ёмкости, указанным в первой строке табл. 7.2. Измеряйте и записывайте в табл. 7.2 значения токов в трёх ветвях цепи.

Таблица 7.2

$C, \text{ мкФ}$	0,22	0,47	0,69 (0.22+0.47)	1	1.22 (1+0.22)	1.47 (1+0.47)
$I_K, \text{ мА}$						
$I_C, \text{ мА}$						
$I, \text{ мА}$						

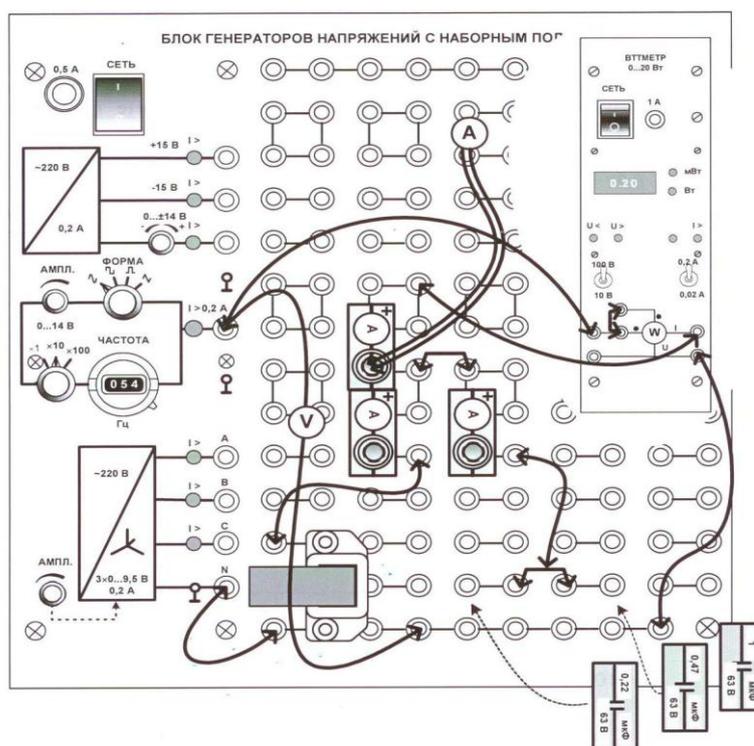


Рис. 9.2. Монтажная схема

5.5. Постройте графики изменения токов  $I_K$ ,  $I_C$ ,  $I$  от ёмкости конденсатора  $C$  в масштабе  $M_I = 10 \text{ мА/см}$ ,  $M_C = 0,2 \text{ мкФ/см}$ . По минимуму тока  $I$  определите фактическую резонансную ёмкость  $C_{\text{рез}}$ . Сравните её с расчётным значением  $C_{\text{рез}}$ .

5.6. Постройте векторные диаграммы (треугольники токов) для трёх случаев  $C < C_{\text{рез}}$ ,  $C = C_{\text{рез}}$ ,  $C > C_{\text{рез}}$ . Для резонансного режима значения токов возьмите из графика (п. 5/5).

## 6. Требования к отчёту

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицы, графики, векторные диаграммы, необходимые расчёты.

6.2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.

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

6.4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

## 7. Контрольные вопросы

7.1. Из каких составляющих состоит ток каждой параллельной ветви по методу проводимостей?

- 7.2. Как определяются активные и реактивные составляющие токов в ветвях?
- 7.3. Как определяются полные токи в ветвях?
- 7.4. Как определяется активная составляющая тока в неразветвлённой части цепи?
- 7.5. Как определяется реактивная составляющая тока в неразветвлённой части цепи?
- 7.6. Формулы активной, реактивной проводимостей.
- 7.7. Как можно определить углы сдвига фаз  $\varphi$  между напряжениями и токами в ветвях?
- 7.8. Формулы для определения активной, реактивной и полной мощности в параллельной цепи.
- 7.9. Условия резонанса токов.
- 7.10. Свойства резонанса токов.
- 7.11. Особенности треугольников токов в случае идеальной катушки индуктивности и идеального конденсатора.

## Лабораторная работа № 8

2 часа

### ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ЗВЕЗДОЙ

#### 1. Цель работы

Исследование трёхфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузке, соединённой звездой, с нейтральным проводом и без него

#### 2. Обеспечивающие средства

2.1. Лабораторный стенд;

2.2. Миниблоки «Амперметр» - 4 шт., резисторы 1 кОм – 3 шт., 330 Ом, 470 Ом, конденсатор 4,4 мкФ, катушка индуктивности 900 витков с собранным ферромагнитным сердечником;

2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

#### 3. Литература

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

3.2. Л.И. Фуфаева «Электротехника», §§ 11.2

#### 4. Задание

4.1. В трёхфазной цепи при соединении нагрузки звездой измерить действующие значения токов и напряжений, мощность, построить в масштабе векторные диаграммы и проверить баланс мощностей для следующих случаев:

- Симметричная активная нагрузка с нейтральным проводом и без него;
- Несимметричная активная нагрузка с нейтральным проводом и без него;
- Несимметричная смешанная нагрузка с нейтральным проводом и без него.

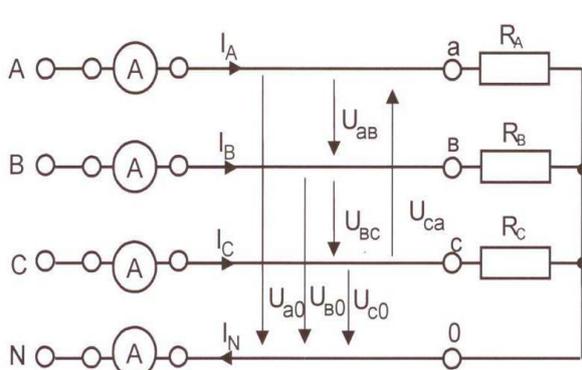


Рис. 8.1. Схема соединения нагрузки звездой

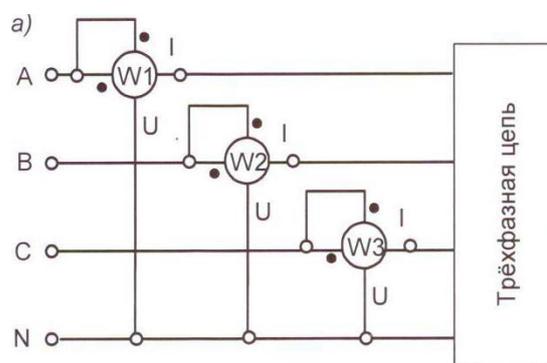


Рис. 8.2. Схема измерения активной мощности

4.2. Проанализировать результаты измерений, сделать вывод о влиянии нейтрального провода на режим работы трёхфазной нагрузки, соединённой звездой.

#### 5. Технология работы

5.1. Соберите цепь с симметричной активной нагрузкой ( $R_A = R_B = R_C = 1$  кОм) согласно принципиальной схеме (рис. 8.1) и монтажной схеме (рис. 8.3).

5.2. Измерьте напряжения и токи на нагрузке в схеме с нейтральным проводом и вычислите мощности. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 8.1.

*(Для переключения амперметра и ваттметра используйте коммутационный миниблок «амперметр» и пару проводников с коаксиальным разъёмом!)*

5.3. Подключая ваттметр сначала в фазу *A*, затем в фазу *B* и в фазу *C*, измерьте мощности трёх фаз (рис. 8.2) и вычислите суммарную мощность. Результаты также занесите в таблицу 8.1.

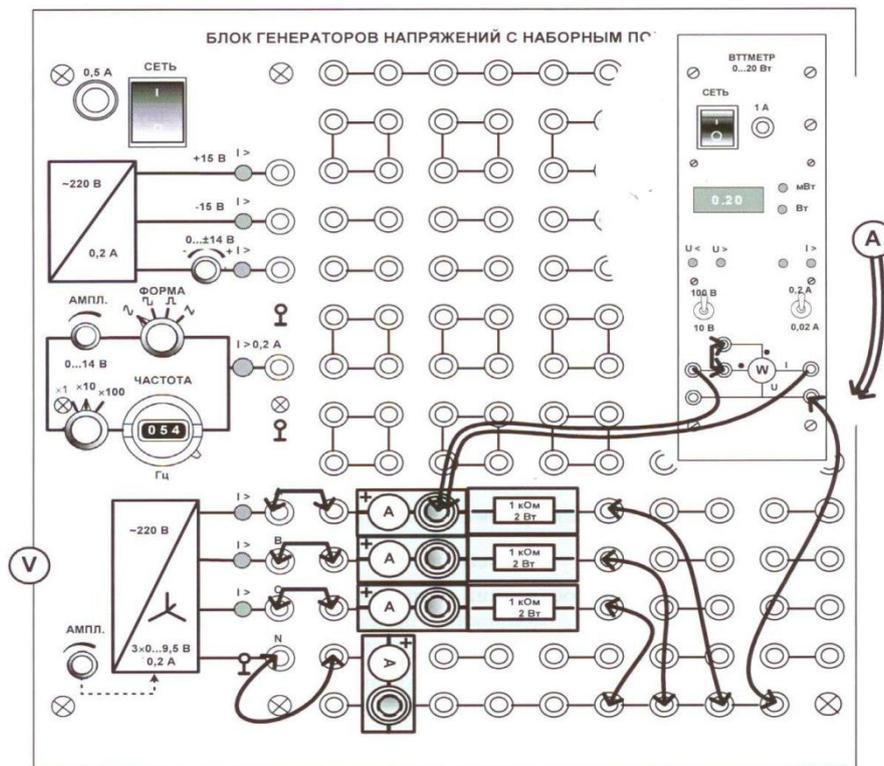


Рис. 8.3. Монтажная схема соединения нагрузки звездой

5.4. Уберите из схемы нейтральный провод (перемычку между точками  $N$  и  $0$ ) и снова проведите все измерения.

Таблица 8.1

Схема «звезда»		Симметричная активная нагрузка		Несимметричная активная нагрузка		Несимметричная смешанная нагрузка	
		с нейтралью	без нейтрали	с нейтралью	без нейтрали	с нейтралью	без нейтрали
Фазные токи, мА	$I_A$						
	$I_B$						
	$I_C$						
Ток нейтрали, мА	$I_N$						
Фазные напряжения, В	$U_A$						
	$U_B$						
	$U_C$						
Напряжение смещения нейтрали	$U_N$						
Линейные напряжения, В	$U_{AB}$						
	$U_{BC}$						
	$U_{CA}$						
Измеренные мощности, Вт	$P_1$						
	$P_2$						
	$P_3$						
	$\sum P$						

5.5. Повторите измерения и вычисления для несимметричной активной нагрузки с нейтральным проводом и без нейтрального провода ( $R_A = 1 \text{ кОм}$ ,  $R_B = 330 \text{ Ом}$ ,  $R_C = 470 \text{ Ом}$ ).

5.6. Повторите измерения и вычисления, заменив резистор фазы  $B$  конденсатором  $4,4 \text{ мкФ}$ , а резистор фазы  $C$  катушкой индуктивности  $900$  витков с собранным ферромагнитным сердечником.

5.7. Выберите масштабы  $M_U$  и  $M_I$  и постройте векторные диаграммы напряжений и векторные диаграммы токов для различных видов нагрузки с нейтральным проводом.

**Внимание:** для построения вектора тока  $I_C$  при смешанной нагрузке необходимо вычислить сдвиг фаз  $\varphi_C = \arccos P_C/S_C$ .

### **6. Требования к отчёту**

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицу, векторные диаграммы.

6.2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.

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

6.4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

### **7. Контрольные вопросы**

7.1. Что такое фазное напряжение?

7.2. Что такое линейное напряжение?

7.3. Что такое напряжение смещения нейтрали?

7.4. При каких условиях возникает «перекос фаз»?

7.5. Как уменьшить «перекос фаз»?

7.6. От чего зависит величина напряжения смещения нейтрали?

7.7. В каком случае напряжение смещения нейтрали при установленной неравномерной нагрузке максимально?

7.8. Роль нейтрального провода.

7.9. Как влияет напряжение смещения нейтрали на величину фазных напряжений приемника?

7.10. Как определить ток в нейтральном проводе?

## Лабораторная работа № 9

2 часа

### ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

#### 1. Цель работы

Исследование трёхфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузке, соединённой треугольником

#### 2. Обеспечивающие средства

2.1. Лабораторный стенд;

2.2. Миниблоки «Амперметр» - 6 шт., резисторы 1 кОм – 3 шт., 330 Ом, 470 Ом, конденсатор 4,4 мкФ, катушка индуктивности 900 витков с собранным ферромагнитным сердечником;

2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

#### 3. Литература

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

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

#### 4. Задание

В трёхфазной цепи при соединении нагрузки треугольником измерить действующие значения фазных и линейных токов, напряжений, активную мощность. Построить в масштабе векторные диаграммы для следующих случаев:

- Симметричная активная нагрузка;
- Несимметричная активная нагрузка;
- Несимметричная смешанная нагрузка.

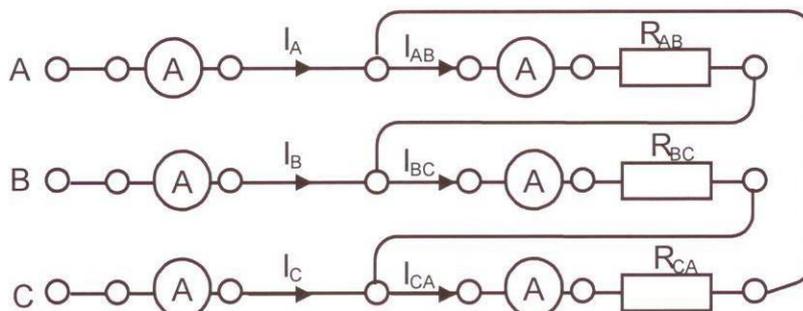


Рис. 9.1. Схема соединения нагрузки треугольником

#### 5. Технология работы

5.1. Соберите цепь с симметричной активной нагрузкой ( $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} = 1$  кОм) согласно принципиальной схеме (рис. 9.1) и монтажной схеме (рис. 9.2).

5.2. Измерьте мультиметрами напряжения и токи, указанные в табл. 9.1 и вычислите мощности. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 9.1.

*(Для переключения амперметра из одной цепи в другую, также как и ваттметра, используйте коммутационный миниблок «амперметр» и пару проводников с коаксиальным разъёмом!)*

5.3. Подключая токовую цепь ваттметра сначала в фазу  $A$ , а цепь напряжения – на напряжение  $U_{AB}$ ; затем токовую цепь в фазу  $C$ , а цепь напряжения – на напряжение  $U_{CB}$ , измерьте две мощности  $P_1$  и  $P_2$  вычислите суммарную мощность по методу двух ваттметров  $P = P_1 + P_2$ . Результаты также занесите в таблицу 9.1.

5.4. Повторите измерения и вычисления для несимметричной активной нагрузки с  $R_{AB} = 1$  кОм,  $R_{BC} = 330$  Ом,  $R_{CA} = 470$  Ом.

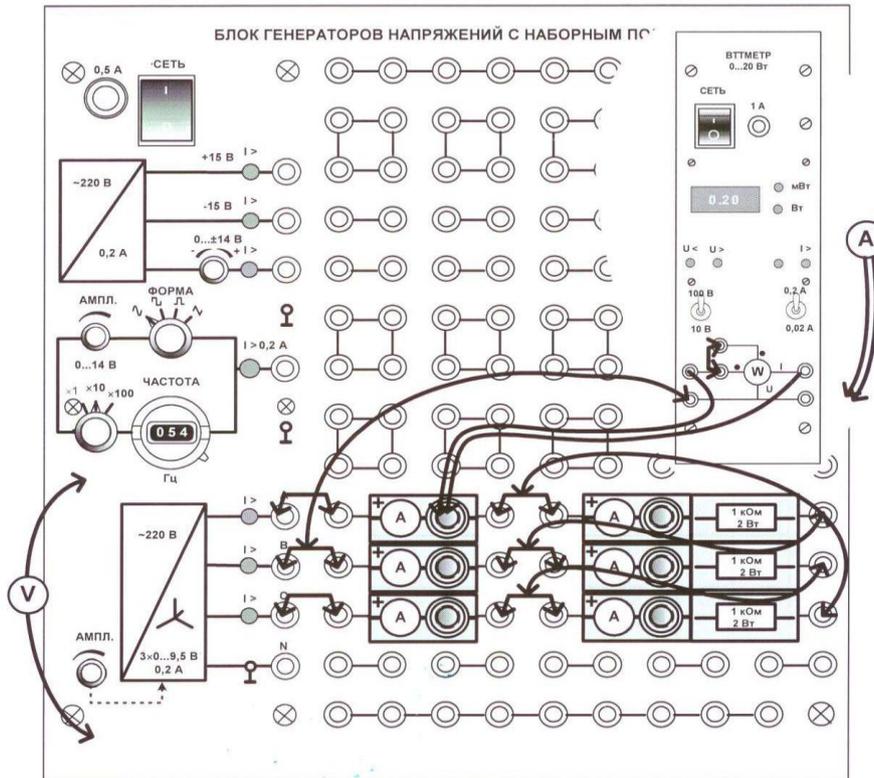


Рис. 9.2 Монтажная схема

5.5. Повторите измерения и вычисления, заменив резистор фазы  $BC$  конденсатором  $4,4 \text{ мкФ}$ , а резистор фазы  $CA$  катушкой индуктивности  $900$  витков с собранным ферромагнитным сердечником.

Таблица 9.1

Соединение «треугольник»		Симметричная активная нагрузка	Несимметричная активная нагрузка	Несимметричная смешанная нагрузка
Фазные токи, мА	$I_{AB}$			
	$I_{BC}$			
	$I_{CA}$			
Линейные токи, мА	$I_A$			
	$I_B$			
	$I_C$			
Линейные напряжения, В	$U_{AB}$			
	$U_{BC}$			
	$U_{CA}$			
Измеренные мощности, мВт	$P_1$			
	$P_2$			
	$\Sigma P$			

5.6. Выберите масштабы и постройте векторные диаграммы токов и напряжений для всех случаев.

**Внимание:** для построения вектора тока  $I_{CA}$  при смешанной нагрузке необходимо вычислить сдвиг фаз  $\varphi_{CA} = \arccos P_{CA}/S_{CA}$ .

### **6. Требования к отчёту**

- 6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицу, векторные диаграммы напряжений и токов в масштабе.
- 6.2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.
- 6.3. Вычисления начинать с записи расчётных формул в общем виде.
- 6.4. Использовать в расчётах размеры величин в системе СИ.

### **7. Контрольные вопросы**

- 7.1. Что понимают под соединением приемников энергии треугольником?
- 7.2. Что понимают под симметричной нагрузкой?
- 7.3. Как рассчитываются мощности  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  при симметричной нагрузке?
- 7.4. Соотношение напряжений, фазного  $U_\phi$  и линейного  $U_L$ , при соединении приемников энергии треугольником.
- 7.5. Соотношение фазных и линейных токов при симметричной нагрузке, соединённой треугольником.
- 7.6. Как определяются линейные токи при неравномерной нагрузке, соединённой треугольником?

## Лабораторная работа № 10

2 часа

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СТАБИЛИТРОНА

#### 1. Цель работы

Исследование стабилизаторов напряжения, определение параметров стабилизаторов.

#### 2. Обеспечивающие средства

2.1. Лабораторный стенд;

2.2. Миниблок КС 456А, компенсационный стабилизатор, резисторы 10 Ом, 22 Ом, 33 Ом, 47 Ом, 100 Ом – 2 шт., 150 Ом;

2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

#### 3. Литература

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

#### 4. Задание

Снять экспериментально характеристики параметрического и компенсационного стабилизаторов постоянного напряжения. Определить параметры стабилизаторов.

#### 5. Технология работы

5.1. Соберите цепь параметрического стабилизатора согласно принципиальной схеме (рис. 10.1) и монтажной схеме (рис.10.2) сначала без сопротивлений нагрузки (резисторы 100 Ом и 33 Ом).

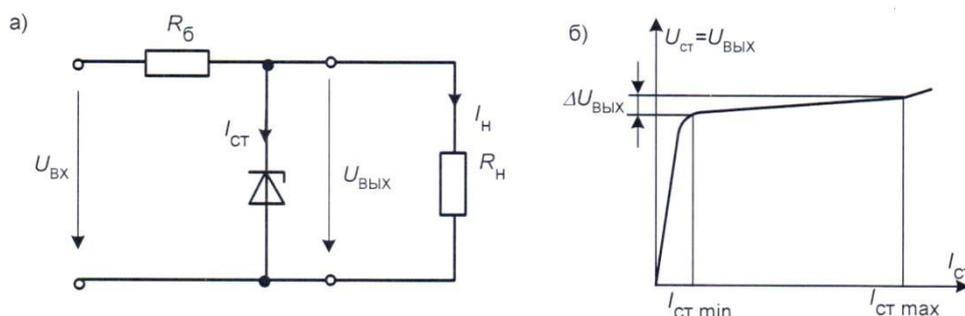


Рис. 10.1. Параметрический стабилизатор его ВАХ

5.2. Включите генератор напряжения и, изменяя напряжение на входе стабилизатора от 0 до 14 В, снимите зависимость выходного напряжения от входного на холостом ходу. Результаты занесите в таблицу 10.1.

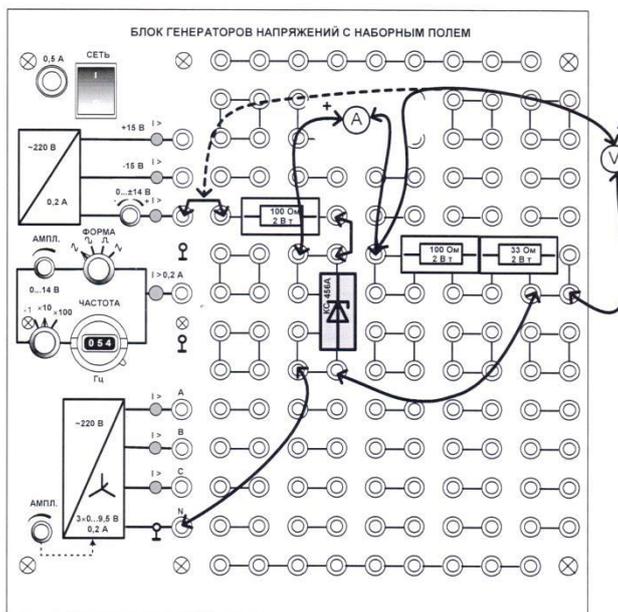


Рис. 10.2. Монтажная схема параметрического стабилизатора

Таблица 10.1

$U_{вх}, В$	0	2	4	6	8	10	12	
$U_{вых}, В$								

5.3. Установите максимальное напряжение на входе и, включая различные сопротивления нагрузки согласно табл. 10.2, снимите зависимость выходного напряжения стабилизатора от тока нагрузки. Результаты занесите в таблицу 10.2.

Таблица 10.2

$R_{н}, Ом$	$\infty$	150	100	47+22	47+10	47	33+10	33
$I_{н}, mA$	0 (XX)							
$U_{вых}, В$								

5.4. Постройте графики  $U_{вых}=f_1(U_{вх})$  и  $U_{вых}=f_2(I_{н})$  в масштабе  $m_U=2 В/см$ ,  $m_I=20 mA/см$ .

5.5. На графиках укажите минимально допустимое входное напряжение, максимально допустимый ток нагрузки и определите коэффициенты стабилизации по напряжению и по току, приняв  $U_{ВХном}=8 В$ ,  $I_{Нном}=80 mA$ .

$$K_{ст U} = \frac{\Delta U_{ВХ}}{U_{ВХ ном}} : \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{U_{ВЫХ ном}} = \frac{\delta U_{ВХ}}{\delta U_{ВЫХ}} = \dots\dots\dots$$

$$K_{ст I} = \frac{\Delta I_{н}}{I_{н ном}} : \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{U_{ВЫХ ном}} = \frac{\delta I_{н}}{\delta U_{ВЫХ}} \dots\dots\dots$$

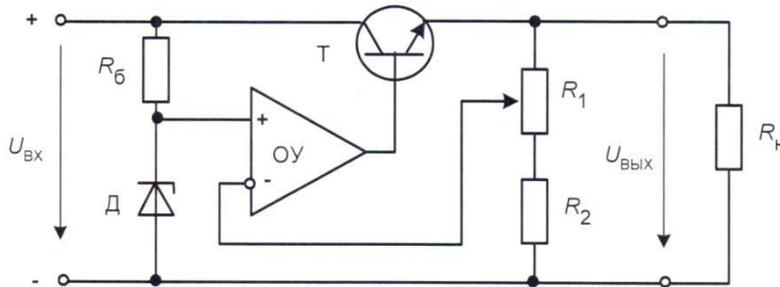


Рис. 10.3. Схема компенсационного стабилизатора

5.6. Соберите цепь для исследования компенсационного стабилизатора (рис. 10.4) сначала без нагрузки. Установите на входе стабилизатора максимальное напряжение регулятором источника, а на выходе – напряжение 4...6 В с помощью потенциометра на миниблоке.

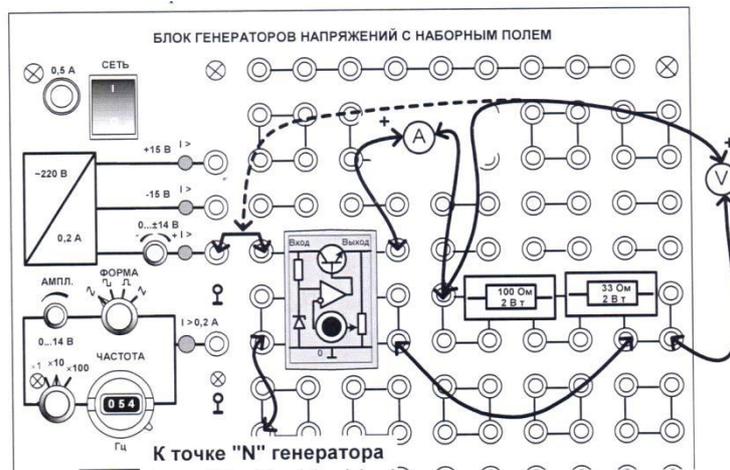


Рис. 10.4. Монтажная схема компенсационного стабилизатора

5.7. Изменяя напряжение на входе стабилизатора от 0 до 14 В, снимите зависимость выходного напряжения от входного на холостом ходу. Результаты занесите в таблицу 10.3.

Таблица 10.3

$U_{вх}, В$	0	2	4	6	8	10	12	
$U_{вых}, В$								

5.8. Установите максимальное напряжение на входе и, включая различные сопротивления нагрузки согласно табл. 10.4, снимите зависимость выходного напряжения стабилизатора от тока нагрузки. Результаты занесите в таблицу 10.4.

5.9. Постройте графики  $U_{вых}=f_3(U_{вх})$  и  $U_{вых}=f_4(I_H)$  в масштабе  $m_U=2 В/см$ ,  $m_I=20 мА/см$  для компенсационного стабилизатора на тех же плоскостях, что п. 5.4.

5.10. На графиках укажите минимально допустимое входное напряжение, максимально допустимый ток нагрузки и определите коэффициенты стабилизации по напряжению и по току, приняв  $U_{ВХном}=8 В$ ,  $I_{Hном}=80 мА$ .

$$K_{ст U} = \frac{\Delta U_{ВХ}}{U_{ВХ ном}} : \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{U_{ВЫХ ном}} = \frac{\delta U_{ВХ}}{\delta U_{ВЫХ}} = \dots\dots\dots$$

$$K_{ст I} = \frac{\Delta I_H}{I_{H ном}} : \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{U_{ВЫХ ном}} = \frac{\delta I_H}{\delta U_{ВЫХ}} \dots\dots\dots$$

5.11. Сравните эти коэффициенты с коэффициентами параметрического стабилизатора.

### 6. Требования к отчёту

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести таблицы, необходимые расчёты, графики.

6.2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.

### 7. Контрольные вопросы

7.1. Назначение стабилизаторов.

7.2. Коэффициент стабилизации по входному напряжению.

7.3. Коэффициент стабилизации по току.

7.4. Рабочий участок ВАХ стабилитрона.

7.5. Основные параметры стабилитрона.

7.6. Что входит в состав компенсационного стабилизатора напряжения?

## Лабораторная работа № 11

2 часа

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

#### 1. Цель работы

Исследование характеристик однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей

#### 2. Обеспечивающие средства

2.1. Лабораторный стенд;

2.2. Диоды КД 226 – 4 шт., резистор 10 кОм, конденсаторы 1 мкФ, 10 мкФ, 100 мкФ.

2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

#### 3. Литература

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

#### 4. Задание

Исследование экспериментально основных параметров однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей.

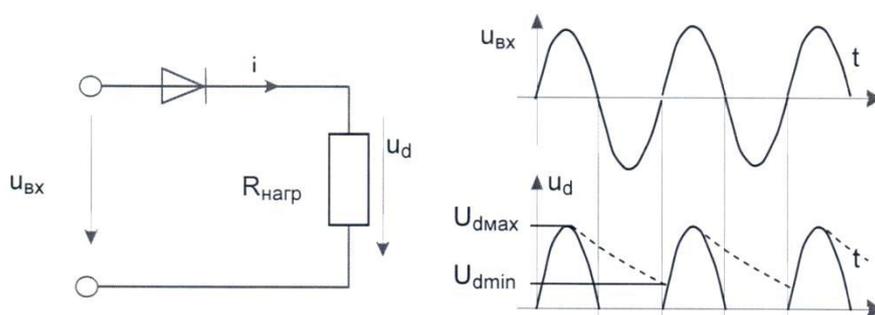


Рис. 11.1. Принципиальная схема однополупериодного выпрямителя

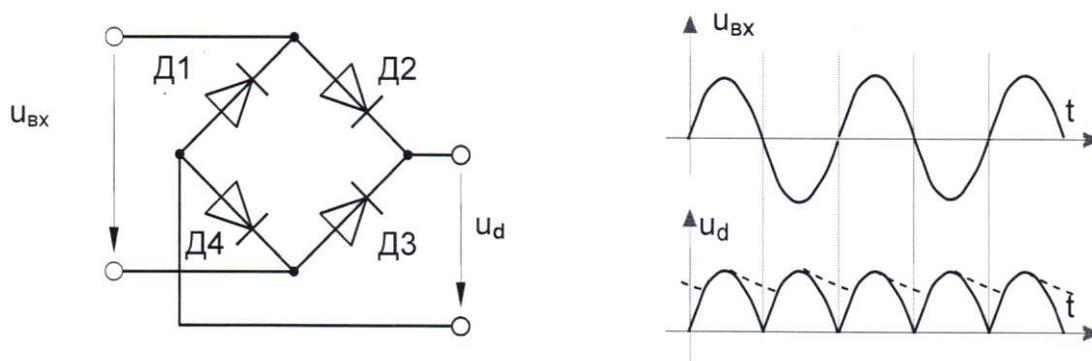


Рис. 11.2. Принципиальная схема двухполупериодного выпрямителя

#### 5. Технология работы

5.1. Соберите цепь согласно принципиальной схеме (рис. 11.1) и монтажной (рис. 11.3) сначала без сглаживающего фильтра ( $C=0$ ). Включите мультиметры:  $V_1$  – для измерения действующего значения синусоидального напряжения,  $V_2$  – для измерения постоянного напряжения. Включите и настройте осциллограф. Установите развёртку 5 мс/дел.

5.2. Сделайте измерения и запишите в табл. 11.1 значения:  $U_{вх}$  – по мультиметру  $V_1$ ,  $U_d$  – по мультиметру  $V_2$ ,  $U_{dmax}$  и  $U_{dmin}$  – по осциллографу,  $m = f_{нуль} / f_{вх}$ .

5.3. Рассчитайте и запишите в табл. 11.1 коэффициенты  $U_d / U_{вх}$ ,  $U_{max}$  и  $k_{нуль}$ .

5.4. Параллельно нагрузочному резистору  $R_n$  подключите сглаживающие конденсаторы  $C$  ёмкостями, указанными в табл. 11.1, повторите измерения и вычисления. Результаты занесите в табл. 11.1.

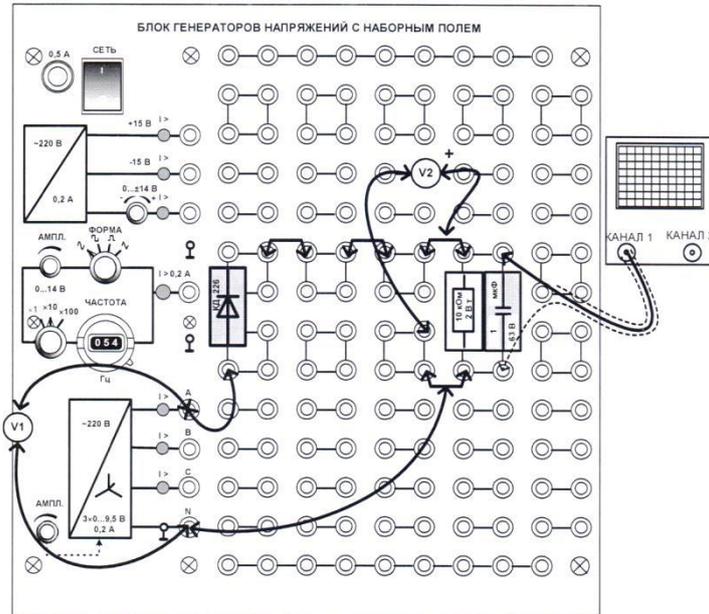


Рис. 11.3. Монтажная схема однополупериодного выпрямителя

Таблица 11.1

$C, \text{мкФ}$	0	1	10	100
$U_{BX}, \text{В}$				
$U_d, \text{В}$				
$U_{d\max}, \text{В}$				
$U_{d\min}, \text{В}$				
$m$				
$U_d / U_{BX}$				
$U_{\max\sim}$				
$k_{\text{ПУЛЬС}}$				

5.5. Соберите схему двухполупериодного мостового выпрямителя согласно монтажной схеме (рис. 11.4). Повторите все измерения и вычисления. Результаты занесите в табл. 11.2.

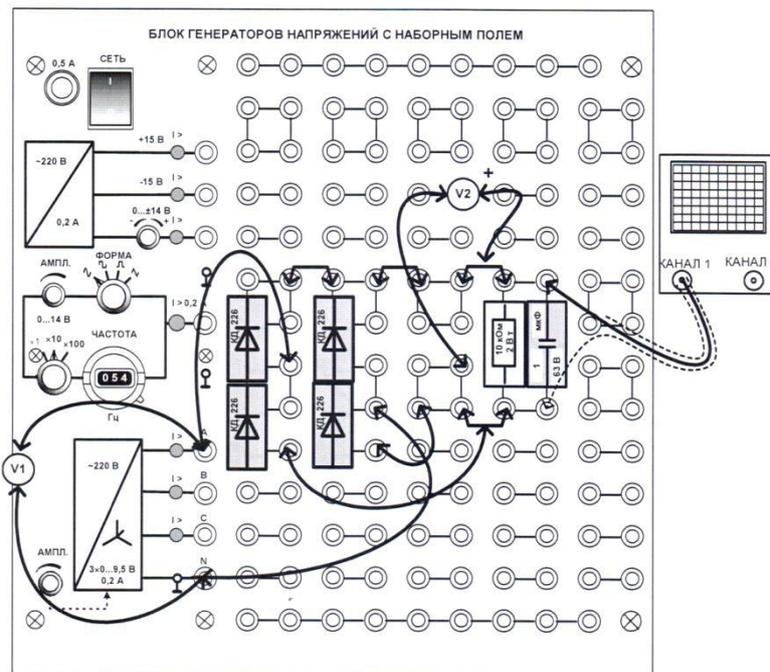


Рис. 11.4. Монтажная схема двухполупериодного выпрямителя

Таблица 11.2

$C, \text{ мкФ}$	0	1	10	100
$U_{BX}, \text{ В}$				
$U_d, \text{ В}$				
$U_{d\max}, \text{ В}$				
$U_{d\min}, \text{ В}$				
$m$				
$U_d / U_{BX}$				
$U_{\max\sim}$				
$k_{\text{пульс}}$				

5.6. Сравните значения постоянной составляющей выпрямленного напряжения и частоту пульсаций. Оцените возможности сглаживания пульсаций фильтрами для обеих схем.

### **6. Требования к отчёту**

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальные схемы (рис. 11.1; 11.2), таблицы, вывод по п. 5.6..

6.2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.

### **7. Контрольные вопросы**

7.1. Основные элементы выпрямительного устройства.

7.2. Основные параметры выпрямителя.

7.3. Основные преимущества двухполупериодного выпрямителя по сравнению соднополупериодным.

7.4. Какие элементы могут использоваться в выпрямителях в качестве вентилялей?

7.5. Основные параметры стабилизатора.

7.6. Что входит в состав компенсационного стабилизатора напряжения?

## Лабораторная работа № 12

2 часа

### МОСТОВОЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ ТРЁХФАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

#### 1. Цели работы

- 1.1. Сравнительный анализ параметров трёхфазного выпрямителя с однофазными.
- 1.2. Исследование влияния фильтров на форму выпрямленного напряжения.

#### 2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Лабораторный стенд;
- 2.2. Диоды КД 226 – 6 шт., резистор 100 Ом, потенциометр 1000 Ом, катушка 900 витков с сердечником, конденсатор 100 мкФ.
- 2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

#### 3. Литература

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

#### 4. Задание

Выпрямить выходное напряжение трёхфазного источника посредством трёхфазного мостового выпрямителя. Измерить параметры выпрямителя и сравнить с параметрами однофазных выпрямителей. Исследовать влияние индуктивного, ёмкостного и ёмкостно-индуктивного фильтров на форму выпрямленного напряжения при различных сопротивлениях нагрузки.

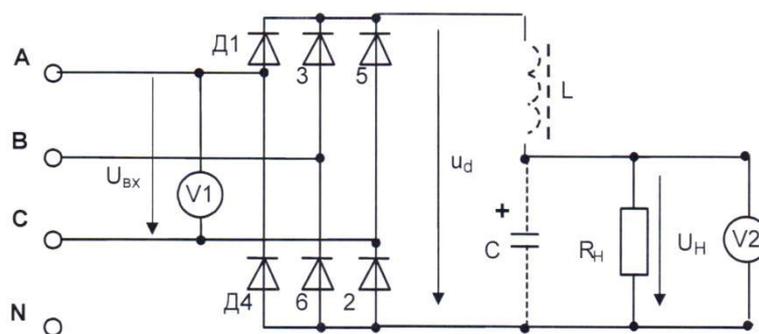


Рис. 12.1. Мостовая схема трёхфазного выпрямителя

#### 5. Технология работы

5.1. Соберите цепь трёхфазного мостового выпрямителя согласно принципиальной схеме (рис. 12.1) и монтажной схеме (рис. 12.2). На схеме  $V_1$  – мультиметр для измерения действующего значения синусоидального напряжения,  $V_2$  – мультиметр для измерения постоянного (выпрямленного) напряжения. Сопротивление нагрузки  $R_n$  состоит из двух последовательно соединённых резисторов: постоянного 100 Ом и переменного 1000 Ом, - и в первом опыте может быть любым от 100 до 1100 Ом.

В качестве индуктивности используйте катушку трансформатора 900 витков, вставив между половинками сердечника полоски обычной писчей бумаги в один-два слоя, чтобы в магнитопроводе образовался немагнитный зазор.

В первом опыте  $C=0$  и  $L=0$  (на монтажной схеме конденсатор отсутствует, а перемычка III находится в исходном положении, показанном сплошной линией). Для наблюдения формы выпрямленного напряжения в схему включён осциллограф.

5.2. Подайте на вход схемы переменное трёхфазное напряжение максимальной величины, которую может дать источник. Включите осциллограф и установите развёртку 5 мс/дел, отрегулируйте усиление.

5.3. Сделайте измерения и запишите в табл. 12.1 значения:  $U_{вх}$  – действующее (по вольтметру  $V_1$ ),  $U_d$  – среднее (по вольтметру  $V_2$ ),  $\Delta U_{пульс}$  (по осциллографу),  $m=f_{пульс}/f_{вх}$ . Попробуйте изменять сопротивление нагрузки, вращая влево и вправо ручку

потенциометра. Проследите, меняется ли при этом величина и форма выпрямленного напряжения. Объясните результаты.

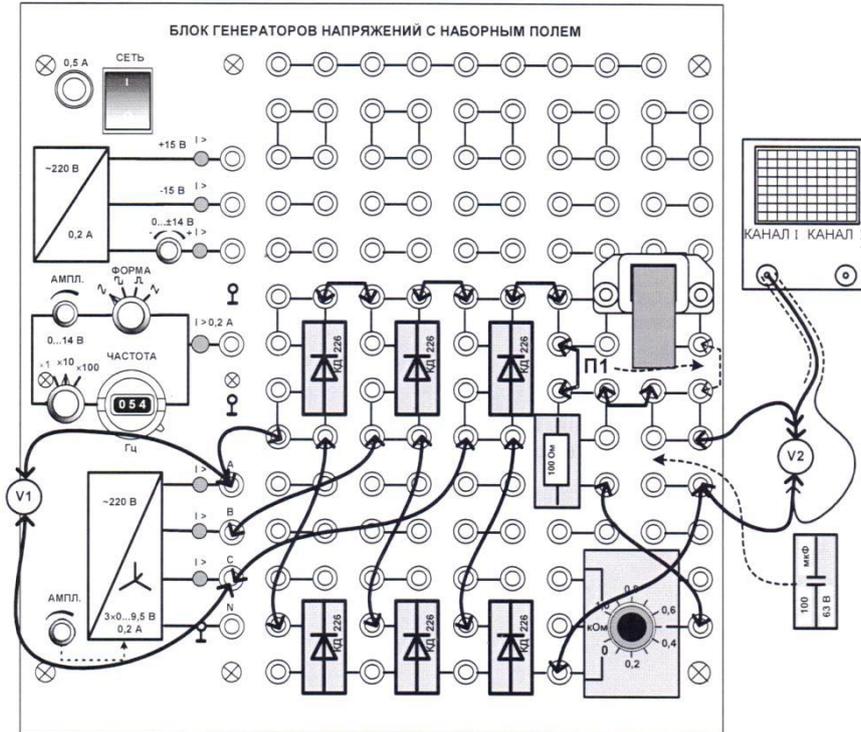


Рис. 12.2 Монтажная схема трёхфазного выпрямителя

5.4. Рассчитайте и запишите в табл. 12.1 коэффициенты  $U_d/U_{ex}$ ,  $U_{max}$  и  $k_{пульс}$ .

5.5. Параллельно нагрузочному резистору  $R_H$  подключите конденсатор 100 мкФ как показано на монтажной схеме пунктирной стрелкой.

Таблица 12.1

$U_{ex}, B$	$U_d, B$	$\Delta U_{пульс}, B$	$m$	$U_d/U_{ex}$	$k_{пульс}$

5.6. Изменяя сопротивление нагрузки от 100 до 1100 Ом и наоборот, наблюдайте на осциллографе за изменением формы выпрямленного напряжения и сделайте вывод.

5.7. Уберите из схемы конденсатор и включите индуктивность. Для этого переставьте перемычку  $III$  как показано пунктирной стрелкой. Опять изменяя сопротивление нагрузки от 100 до 1100 Ом, проследите за изменением формы выпрямленного напряжения.

5.8. Включите в схему и катушку и конденсатор и повторите ещё раз опыт с изменением сопротивления нагрузки.

5.9. По результатам последних опытов ответьте письменно на контрольные вопросы.

**Вопрос 1.** Какова частота пульсаций выходного напряжения  $u_{вых}$  трёхфазного выпрямителя с нулевым проводом?

**Ответ**.....

**Вопрос 2.** Как влияет сопротивление нагрузки на величину и форму выходного напряжения выпрямителя без сглаживающего фильтра?

**Ответ**.....

**Вопрос 3.** Как влияет сопротивление нагрузки на величину и форму выходного напряжения выпрямителя с ёмкостным фильтром?

**Ответ**.....

с индуктивным фильтром?

**Ответ**.....

с ёмкостно-индуктивным фильтром?

**Ответ**.....

### 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).