



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ ОП.02 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

для специальности

13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и
электроμηχανического оборудования.

Учебно-методическое пособие «Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине ОП.02 «Электротехника» для специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования.

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	
ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ, ТОКОВ, НАПРЯЖЕНИЙ И МОЩНОСТЕЙ В ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	7
Лабораторная работа № 3	
ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ РЕЗИСТОРОВ.....	9
Лабораторная работа № 4	
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ РЕЗИСТОРОВ...	11
Лабораторная работа № 5	
ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ СМЕШАННОМ СОЕДИНЕНИИ РЕЗИСТОРОВ	13
Лабораторная работа № 6	
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОСТОЯННОМ ТОКЕ	15
Лабораторная работа № 7	
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ ПРИ ПОСТОЯННОМ ТОКЕ.....	17
Лабораторная работа № 8	
ЦЕПЬ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА С R , L и C	21
Лабораторная работа № 9	
ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ И КОНДЕНСАТОРА	24
Лабораторная работа № 10	
ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ЗВЕЗДОЙ	27
Лабораторная работа № 11	
ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ЗВЕЗДОЙ	30
Лабораторная работа № 12	
ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ТРЕУГОЛЬНИКОМ	33
Лабораторная работа № 13	
ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ В ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ТРЕУГОЛЬНИКОМ	36
Лабораторная работа № 14	
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ	38
Лабораторная работа № 15	
ИСПЫТАНИЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА	41
Используемые источники	43

ВВЕДЕНИЕ

Данное учебно-методическое пособие предназначено для преподавателей и студентов специальности *13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования* при организации и проведении лабораторных занятий по дисциплине «Электротехника» на типовом лабораторном оборудовании ЭЦОЭ.002.РБЭ.В пособии представлены методические указания по выполнению пятнадцати лабораторных работ, охватывающих основные разделы электротехники:

- электрические цепи постоянного тока;
- электрические цепи переменного синусоидального тока;
- трёхфазные электрические цепи;
- магнитные цепи постоянного и переменного тока.

Методические указания по выполнению лабораторных работ составлены в соответствии с требованиями ФГОС к практическим навыкам и умениям. В процессе выполнения лабораторных работ вырабатываются навыки по использованию измерительных приборов, сборке электрических схем, по изучению особенностей эксплуатации отдельных электротехнических устройств, 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 содержат структурированный учебно-методический материал, предназначенный для формирования практических навыков работы с электрическими и магнитными цепями и устройствами; а также для формирования навыков использования теоретических знаний для решения практических задач, что 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.

Выполнение курса лабораторных работ способствует систематизации знаний по дисциплине «Электротехника» и обеспечивает гармоничное восприятие теоретических знаний в сочетании с практическими навыками.

Учебно-методическое пособие представлено на сайте техникума, что позволяет студентам использовать информационный ресурс для рациональной организации учебной деятельности.

Лабораторная работа № 1

2 часа

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С КОМПЛЕКТОМ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1. Цель работы

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

Экспериментальная проверка работоспособности отдельных блоков и приборов.

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Лабораторный стенд;
- 2.2. Резисторы 100 Ом, 47 Ом;
- 2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы;

3. Литература

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

4. Задание

- 4.1. Изучить устройство лабораторной установки и назначение её основных блоков.
- 4.2. Проверить экспериментально работоспособность лабораторной установки с помощью амперметра и вольтметра, собрав цепь согласно принципиальной схеме рис.1.1, включая в неё поочерёдно резисторы с номинальным значением сопротивления $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 150$ Ом.

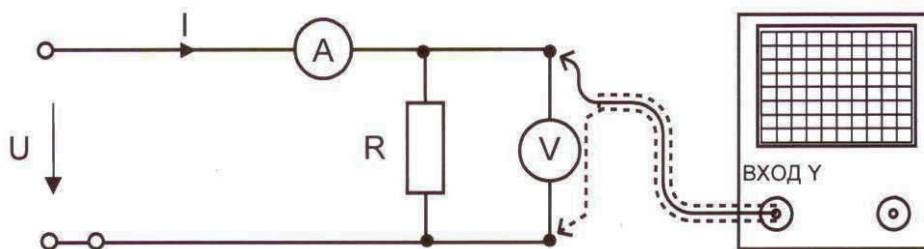


Рисунок 1.1. Принципиальная схема

- 4.3. По экспериментальным данным вычислить сопротивления резисторов R_1 и R_2 , сравнить с номинальным значением, сделать вывод по результатам эксперимента.

5. Технология работы

5.1. Изучить описание лабораторной установки, используя Руководство по выполнению базовых экспериментов ЭЦОЭ.002 РБЭ (Раздел 1.1, стр. 8-19).

5.2. Ответить на контрольные вопросы 7.1 – 7.3.

5.3. Выполнить экспериментальную часть работы по проверке работоспособности лабораторной установки (блока генераторов напряжений и блока измерительных приборов).

5.3.1. Собрать цепь согласно схеме рис. 1, включив в неё резистор с номинальным значением сопротивления $R_1 = 100$ Ом и источник нерегулируемого постоянного напряжения +15 В. Установить предел измерения вольтметра 20 В, предел измерения амперметра - 200 мА.

5.3.2. **В присутствии преподавателя** подать питание на схему, снять показания приборов, занести их в таблицу 1. Отключить питание.

5.3.3. Переключить предел измерения мультиметра для измерения тока на 2 А. Заменить резистор $R_1 = 100$ Ом на $R_2 = 150$ Ом.

5.3.4. **В присутствии преподавателя** снять показания приборов.

5.3.5. Определить сопротивления резисторов R_1 и R_2 по закону Ома для участка электрической цепи (7.4), полученные результаты внести в таблицу 1.1.

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, необходимые расчёты.

Таблица 1.1

№	$R, \text{Ом}$	$U, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$R, \text{Ом}$ (по результатам вычисления)
1	100			
2	150			

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. Показать на лабораторном стенде источник постоянного нерегулируемого напряжения + 15 В, мультиметры, наборное поле для сборки схем.

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.

Лабораторная работа № 2

2 часа

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ, ТОКОВ, НАПРЯЖЕНИЙ И МОЩНОСТЕЙ В ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. Цель работы

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. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 2.7, 2.9

4. Задание

4.1. Ознакомиться с порядком измерения токов, напряжений и сопротивлений с помощью мультиметра, с порядком измерения мощности с помощью ваттметра.

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

5. Технология работы

5.1. С помощью соединительных проводов подключите к зажимам мультиметра «Ω» сопротивление, указанное преподавателем, выберите ближайший превышающий измеряемое сопротивление предел измерения, включите блок мультиметров, и запишите показание мультиметра $R_{изм}$ и номинальное сопротивление $R_{ном}$, указанное на этикетке миниблока:

$$R_{изм} = \dots\dots \text{Ом}; \quad R_{ном} = \dots\dots \text{Ом}.$$

5.2. Вычислите абсолютное и относительное отклонение измеряемого сопротивления от номинального значения в % (относительную погрешность):

$$\Delta R = R_{изм} - R_{ном}$$
$$\delta_R = \frac{R_{изм} - R_{ном}}{R_{ном}} \cdot 100 \% = \dots\dots \%$$

5.3. Соберите цепь в соответствии с принципиальной схемой (Рис. 2.1) и монтажной схемой (Рис. 2.2), установив в наборную панель сопротивление $R_{ном}=100\dots1000 \text{ Ом}$. Запишите значение сопротивления в таблицу 2.

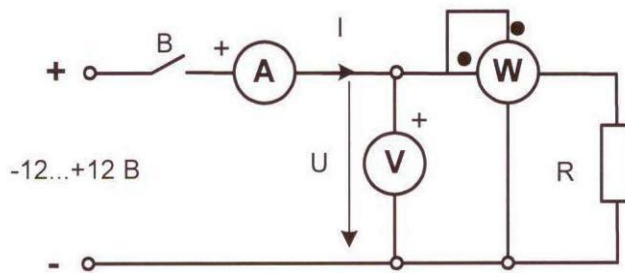


Рисунок 2.1. Принципиальная схема

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

5.5. Устанавливая регулятором напряжения значения, указанные в табл. 2.1, 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.

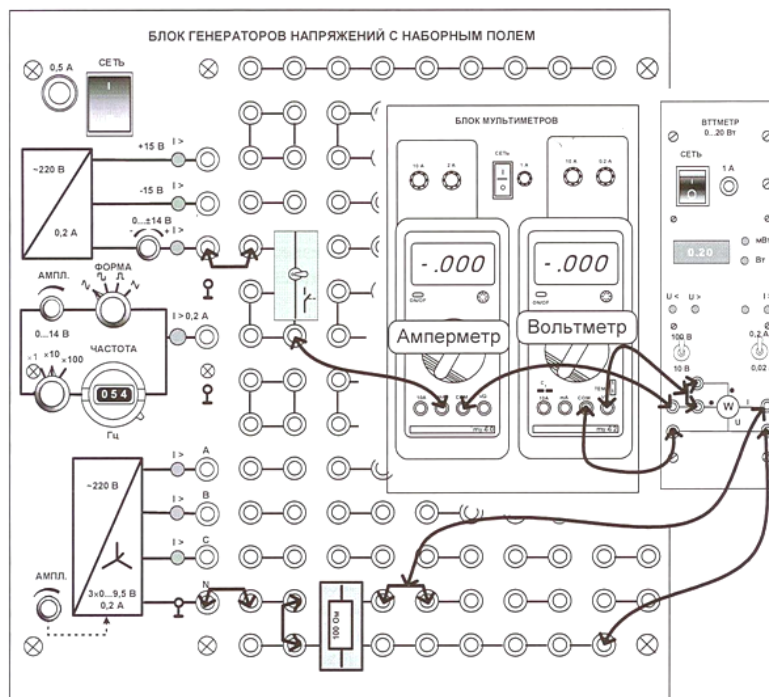


Рисунок 2.2. Монтажная схема

5.6. Вычислите значения мощности $P=UI$ и сопротивления $R=U/I$ и запишите результаты в столбцы таблицы «Вычисленные значения». Сравните результаты вычислений и измерений мощности (R и $R_{\text{ном}}$) и сделайте выводы.

Таблица 2.1

$R_{\text{ном}}, \text{Ом}$	Измеренные значения			Вычисленные значения
	$U, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$P, \text{мВт}$	$P, \text{мВт}$
.....	-5			
	4			
	8			
	12			

6. Требования к отчёту

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему электрической цепи, таблицу 2, 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. От каких параметров зависит величина тока на участке электрической цепи?

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

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

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

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

7.6. Как изменится потребляемая мощность, если ток в цепи увеличить в три раза?

Лабораторная работа № 3

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. Коммутационные 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», §§ 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. Сравнить результаты измерения с расчётом.

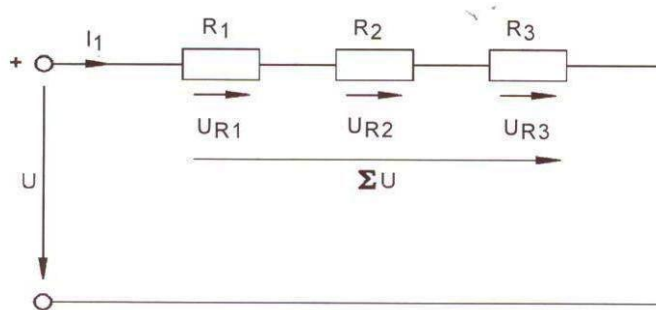


Рис. 3.1. Последовательное соединение резисторов

5. Технология работы

5.1. Соберите цепь согласно принципиальной схеме (Рис. 3.1) и монтажной схеме (Рис. 3.2). Используйте источник напряжения «+15 В». Последовательно с резисторами $R_1 = 47 \text{ Ом}$, $R_2 = 100 \text{ Ом}$ и $R_3 = 220 \text{ Ом}$ включите специальные миниблоки для подключения амперметра.

5.2. С помощью двухжильного кабеля со штекером поочерёдно подключайте к этим миниблокам мультиметр в режиме измерения тока и измерять ток вдоль всей электрической цепи. Убедитесь, что ток имеет одно и то же значение и запишите его в таблицу 3.1 (Измеренное значение).

Таблица 3.1

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

5.3. Измерьте напряжение на каждом резисторе, а также полное напряжение на входе цепи. Все измеренные величины занесите в таблицу 3.

5.4. Рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи $R_{\text{ЭКВ}}$ по номинальным значениям сопротивлений каждого резистора $R_1 = 47 \text{ Ом}$, $R_2 = 100 \text{ Ом}$ и $R_3 = 220 \text{ Ом}$, силу тока I при

$U = 15 \text{ В}$, и падение напряжения U_1 , U_2 , U_3 на каждом резисторе. Результаты занесите в таблицу 3 и сравните с измеренными значениями.

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.

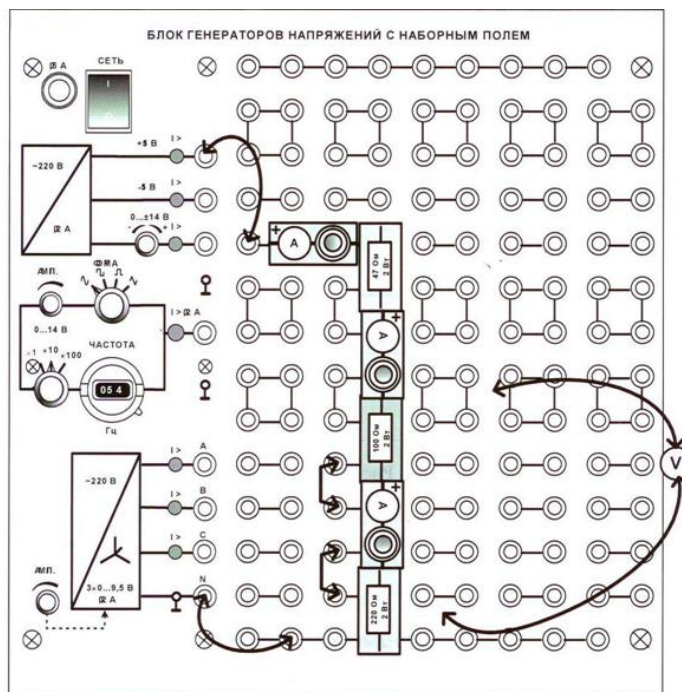


Рис. 3.2. Монтажная схема

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 № 4

2 часа

ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ РЕЗИСТОРОВ

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.

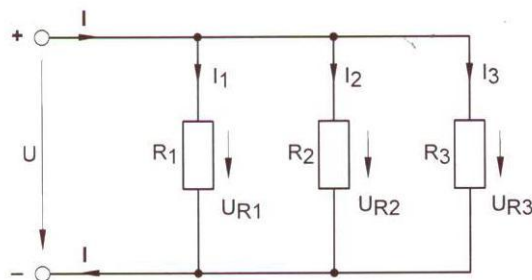


Рис. 4.1. Параллельное соединение резисторов

5. Технология работы

5.1. Соберите цепь согласно принципиальной схеме (Рис. 4.1) и монтажной схеме (Рис. 4.2). 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, а также напряжение на источнике. Убедитесь, что все они одинаковы, и запишите значение напряжения в таблицу 4.

5.3. С помощью мультиметра, специального кабеля со штекером и миниблоков для подключения амперметра измерьте токи в каждом резисторе и на входе цепи. Результаты запишите в таблицу 4.1 (Измеренные значения).

Таблица 4.1

	Напряже ние (U), В	Токи в ветвях, мА			Ток на входе цепи, мА
		330 Ом (I_1)	220 Ом (I_2)	470 Ом (I_3)	$R_{\text{экв}} = \dots$ Ом (I)
Измеренные значения					
Рассчитанные значения					

5.4. Рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи, ток в каждом резисторе и на входе цепи. Результаты запишите в таблицу 4.1 и сравните с измеренными значениями.

5.5. Проверьте по экспериментальным и расчётным данным, выполняется ли первый закон Кирхгофа:

$$I_{изм} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_{расч} = I_1 + I_2 + I_3.$$

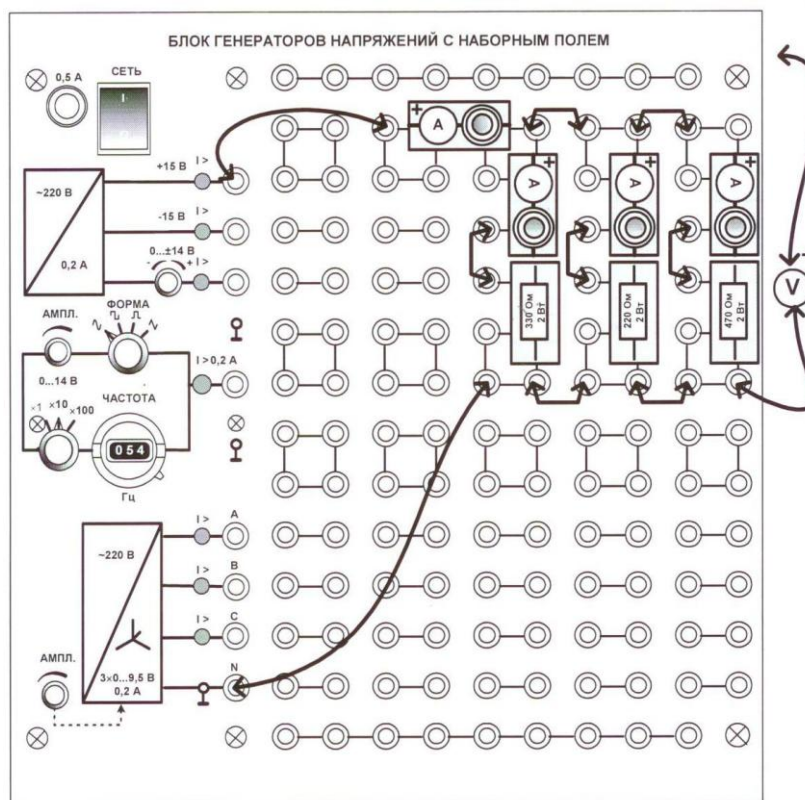


Рис. 4.2. Монтажная схема

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. Что такое параллельное соединение резисторов?
- 7.2. Свойства параллельного соединения резисторов.
- 7.3. Эквивалентное сопротивление двух параллельно соединённых резисторов.
- 7.4. Эквивалентное сопротивление нескольких одинаковых параллельно соединённых резисторов.
- 7.5. Как изменится эквивалентное сопротивление при увеличении количества параллельно соединённых резисторов?
- 7.6. В каком из двух параллельно соединённых резисторов с разным сопротивлением протекает больший ток?
- 7.7. Как изменятся токи на участках R_1 и R_2 , если разомкнуть участок с R_3 (участки соединены параллельно)?

Лабораторная работа № 5

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. Коммутационные 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. 5.1). Проверить результаты измерений расчётом. Проверить выполнение первого и второго законов Кирхгофа и выполнение баланса мощностей.

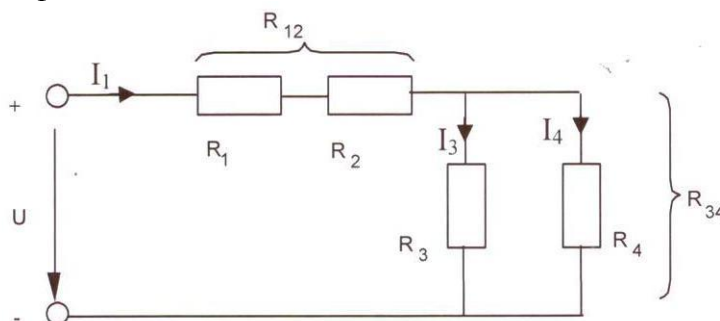


Рис. 5.1. Смешанное соединение резисторов

5. Технология работы

5.1. Соберите цепь согласно принципиальной схеме 5.1 и монтажной схеме 5.2. Используйте источник напряжения «+15 В», резисторы $R_1 = 47$ Ом, $R_2 = 100$ Ом, $R_3 = 220$ Ом и $R_4 = 470$ 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 $I_{\text{н}} = 200$ мА, $U_{\text{н}} = 20$ 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 5.1 в строку «Измеренные значения».

Таблица 5.1

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

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

$$I_{12} = I_3 + I_4;$$
$$U = U_1 + U_2 + U_{34}.$$

5.4. Выполните расчёт параметров электрической цепи (Рис. 5.1) при $U = 15$ 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 5 в строку «Расчётные значения» и сравните их с экспериментальными данными.

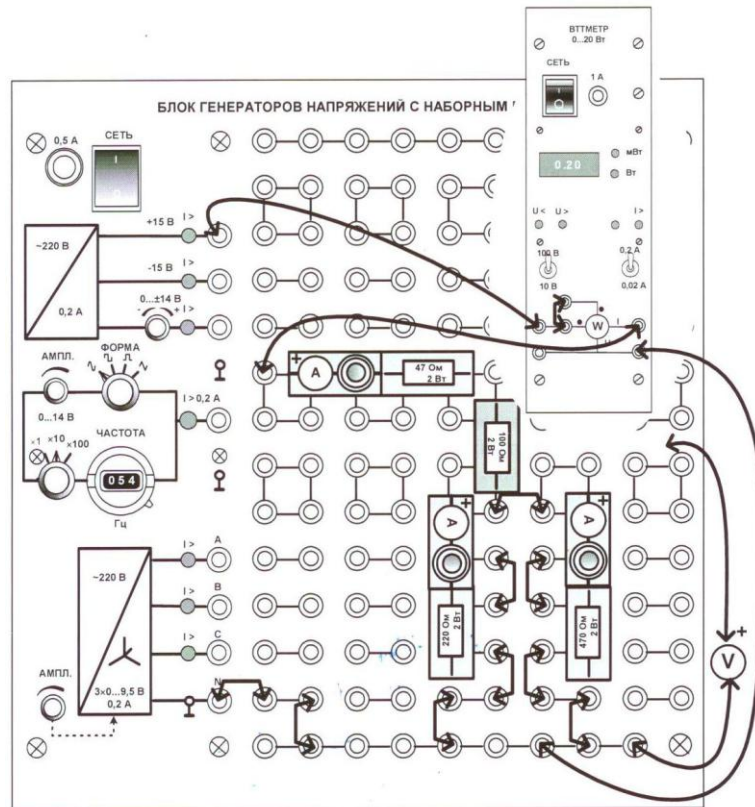


Рис. 5.2. Монтажная схема

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

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 5 и сравните с мощностью, измеренной ваттметром.

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

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 № 6

2 часа

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

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.

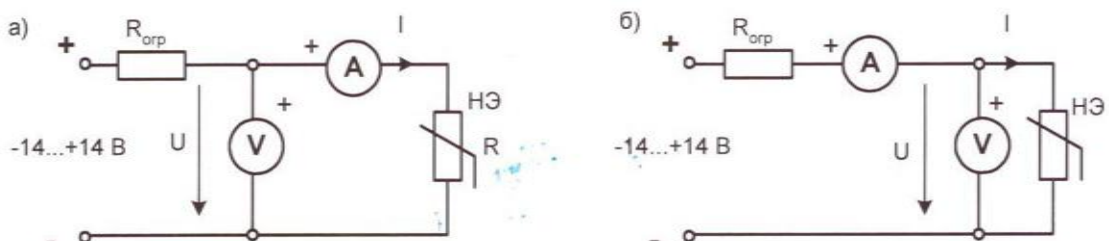


Рис. 6.1. Схемы измерения: а) с погрешностью по напряжению;
б) с погрешностью по току

5. Технология работы

5.1. Для снятия ВАХ лампы накаливания соберите цепь согласно принципиальной схеме 6.1.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. 6.2. 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. 6.2).

5.2. Изменяя ток в цепи, как показано в таблице 6.1, измерьте соответствующие значения напряжения на лампе, запишите в табл. 6.1 и постройте график ВАХ лампы накаливания $i_1 = f_1(u)$ в масштабе $M_I = 10 \text{ мА/см}$, $M_U = 1 \text{ В/см}$.

Таблица 6.1

$I_1, \text{мА}$	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
$U, \text{В}$									

5.3. Замените лампу накаливания стабилитроном, соблюдая полярность, показанную на рис. 6.2, и снимите его ВАХ $i_2 = f_2(u)$, устанавливая либо напряжения, либо токи, указанные в табл. 6.2.

Таблица 6.2

$I_2, \text{мА}$	-40	-20	0					4	10	20	40
$U, \text{В}$				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. 6.2).

Подключение вольтметра к точке «В» соответствует принципиальной схеме 6.1.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 $i_1 = f_1(u)$.

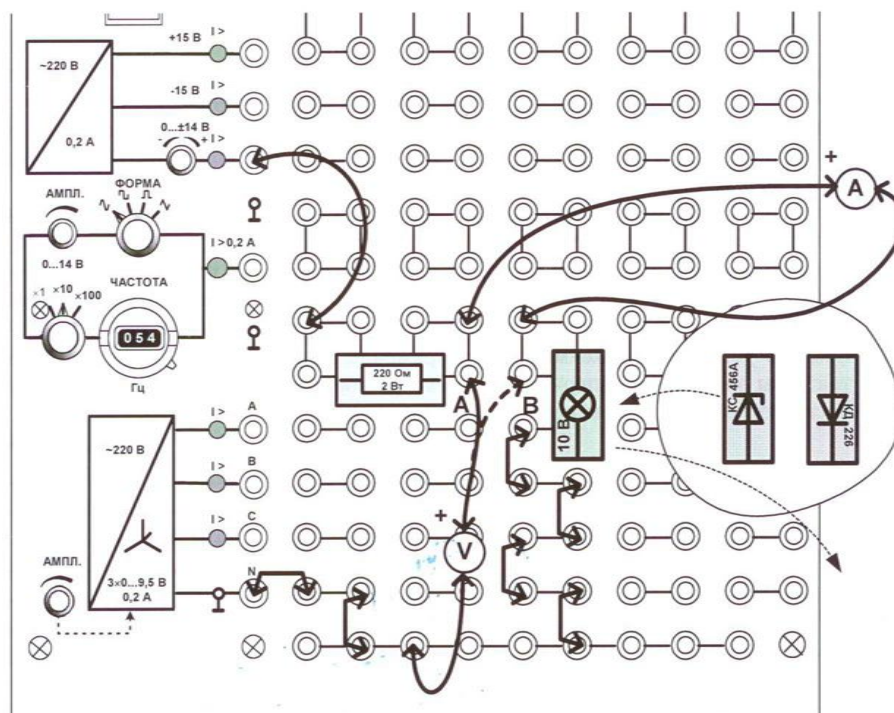


Рис. 6.2. Монтажная схема

5.4. Замените стабилитрон диодом и, устанавливая токи или напряжения, указанные в таблице 6.3, 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 6.3

I_3 , mA						2	10	20	30	40
U, B	-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. Примеры вакуумных и газоразрядных нелинейных элементов.

7.3. В чём состоит основная особенность электропроводности полупроводников по сравнению с металлами?

7.4. Как влияют на электропроводность полупроводников примеси?

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

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

7.7. Схема измерения напряжения и тока с погрешностью по напряжению. Какие факторы влияют на эту погрешность?

7.8. Схема измерения напряжения и тока с погрешностью по току. Какие факторы влияют на эту погрешность?

Лабораторная работа № 7

2 часа

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ ПРИ ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

1. Цель работы

Экспериментальное исследование и расчёт магнитной цепи (МЦ) при постоянном токе, построение вебер-амперных характеристик МЦ без зазора и с зазором

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Лабораторный стенд;
- 2.2. Миниблоки «Магнитная цепь» и «Интегратор», резистор 100 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», §§ 6.2

4. Задание

- 4.1. Снять экспериментально вебер-амперные характеристики МЦ без зазора и с зазором 0,1 мм.
- 4.2. Сделать расчёт характеристики без зазора и с зазором. Сравнить результаты.

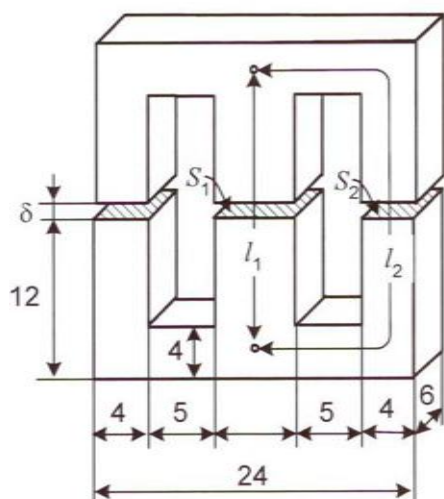


Рис. 7.1. Размеры сердечника

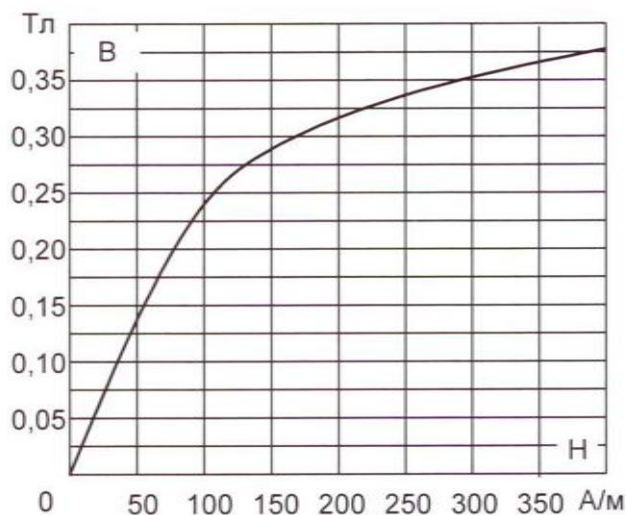


Рис. 7.2. Кривая намагничивания феррита M2000NM

5. Технология работы

5.1. Соберите электрическую цепь согласно принципиальной схеме (Рис. 7.3) и монтажной схеме (Рис. 7.4). Конденсатор 100 мкФ в этой цепи установлен для того, чтобы после отключения цепи сердечник размагничивался в контуре L-C.

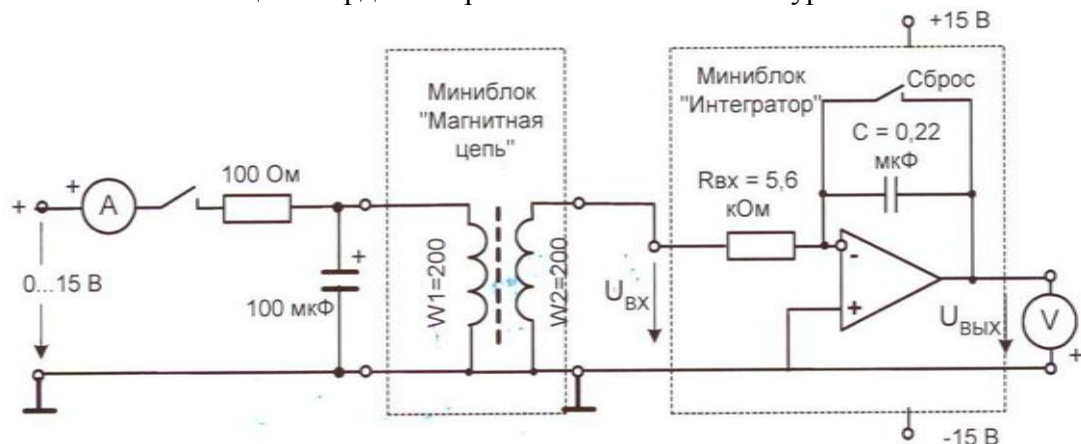


Рис. 7.3. Принципиальная схема установки

5.2. Устраните зазор в МЦ, завернув до отказа регулировочный винт усилием «от руки». Переключите интегратор в положение «Сброс» (верхнее положение переключателя), включите генератор напряжений и установите первое значение тока из табл. 7.1. Убедитесь, что напряжение на выходе равно нулю.

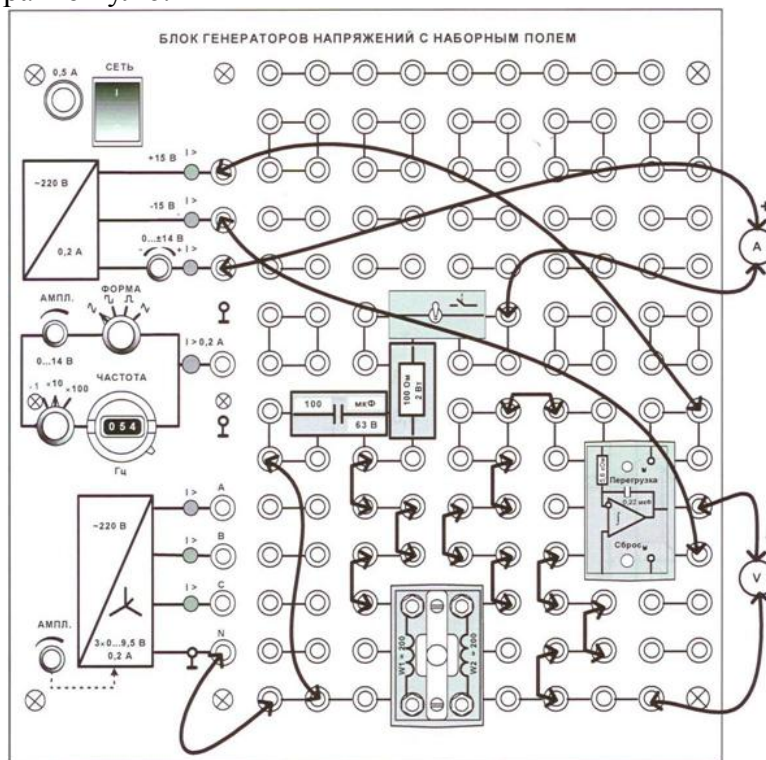


Рис. 7.4. Монтажная схема

5.3. Включите интегрирование и тотчас отключите ток выключателем на входе цепи. В течение двух-трёх секунд после этого запомните значение напряжения на выходе интегратора.

5.4. Снова произведите сброс, включите интегрирование и тотчас включите выключатель на входе цепи. Снова запомните показание вольтметра на выходе. Оно должно быть примерно таким же, как и при выключении, только с другим знаком.

5.5. Прodelайте операции включения и выключения несколько раз и запишите в таблицу 7.1 среднее и наиболее часто повторяющееся значение.

5.6. Установите следующее значение тока из табл. 7.1 и повторите операции выключения и включения. Повторите опыт при значениях тока, указанных в табл. 7. 1.

Таблица 7.1

$\delta = 0$	$I, \text{ мА}$	10	20	40	60	80	100	120
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$							
	$I_w, \text{ А}$							
	$\Phi, \text{ Вб}$							
$\delta = 0,1$ мм	$I, \text{ мА}$			40		80		120
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$							
	$I_w, \text{ А}$							
	$\Phi, \text{ Вб}$							

5.7. Рассчитайте намагничивающую силу $I_w(w=200 \text{ витков})$ и магнитный поток $\Phi = U_{\text{вых}} \cdot RC/w$, где R и C – параметры входной цепи интегрирующего усилителя, указанные на его этикетке. Результаты расчётов занесите в табл. 7.1. Постройте экспериментальный график $\Phi = f_0(I_w)$ в масштабе $M_\Phi = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Вб/см}$, $M_{I_w} = 2 \text{ А/см}$.

5.8. Установите воздушный зазор $\delta = 0,1$ мм с помощью регулировочного винта, один оборот которого изменяет зазор на 0,5 мм. Повторите опыт при значениях тока, указанных для этого зазора. Постройте график $\Phi = f_I(Iw)$ на том же рис.

5.9. Выполните расчёт магнитной цепи, которая схематично показана на рис. 7.5. Магнитопровод выполнен из двух Ш-образных ферритовых сердечников марки М2000НМ. На среднем стержне магнитопровода расположены две одинаковые обмотки (намагничивающая и измерительная) по 200 витков каждая.

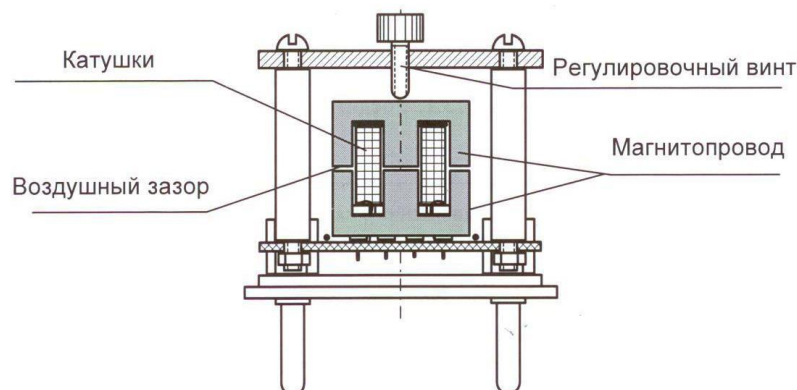


Рис. 7.5. Устройство магнитной цепи

Необходимые для расчёта размеры сердечника приведены на рис. 7.1, а кривая намагничивания феррита М2000НМ – на рис. 7.2.

При расчёте МЦ в силу её симметрии две крайних ветви объединяются в одну ветвь удвоенного сечения. Расчёт следует производить в следующем порядке:

5.9.1. По размерам, указанным на рис. 7.1, определите длины средних линий участков магнитной цепи l_1 и l_2 (при $\delta = 0$), а также их сечения S_1 и S_2 ;

5.9.1. Расчёт вебер-амперных характеристик МЦ без зазора и с зазором $\delta = 0,1$ мм ведите в форме таблицы 7.2.

Таблица 7.2

$B_1, \text{Тл}$	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35
$H_1, \text{А/м (по рис. 7.2)}$					
$H_1 \cdot l_1, \text{А}$					
$\Phi = B_1 \cdot S_1, \text{Вб}$					
$B_2 = \Phi / S_2, \text{Тл}$					
$H_2, \text{А/м (по рис. 7.2)}$					
$H_2 \cdot l_2, \text{А}$					
$Iw = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2, \text{А (при } \delta = 0)$					
$H_{\delta 1} = B_1 / \mu_0, \text{А/м}$					
$H_{\delta 2} = B_2 / \mu_0, \text{А/м}$					
$Iw = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + H_{\delta 1} \delta_1 + H_{\delta 2} \delta_2, \text{А}$					

5.10. Постройте две рассчитанные характеристики $\Phi = f_o'(Iw)$ и $\Phi = f_i'(Iw)$, и сравните их с экспериментальными (п.п. 5.7; 5.8).

6. Требования к отчёту

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести схему магнитопровода (Рис. 7.1), кривую намагничивания феррита М2000НМ (Рис. 7.2), таблицы, необходимые расчёты, рисунки с экспериментально снятыми и с расчётными вебер-амперными характеристиками.

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. Законы Кирхгофа для магнитной цепи.
- 7.2. Порядок расчёта неразветвлённой неоднородной МЦ.
- 7.3. Намагничивающая сила катушки.
- 7.4. Как изменится напряжённость магнитного поля H внутри кольцевой катушки, если число витков катушки увеличить в пять раз?
- 7.5. Как изменится напряжённость магнитного поля H внутри кольцевой катушки, если при неизменном токе взять кольцевую катушку с большим диаметром?
- 7.6. Как изменится магнитный поток катушки без сердечника, если число витков уменьшить в два раза?
- 7.7. Как изменится магнитный поток катушки, если в магнитопроводе сделать воздушный зазор?

Лабораторная работа № 8

2 часа

ЦЕПЬ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА с 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 разъемного 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.

$R_K = \dots\dots\dots$ Ом.

5.2. Соберите цепь с резистором $R = 47$ Ом, катушкой индуктивности 900 витков, которая имеет активное сопротивление R_K и индуктивность L , и конденсатором $C = 1$ мкФ. Принципиальная схема электрической цепи показана на рис. 8.1, а монтажная – на рис. 8.2.

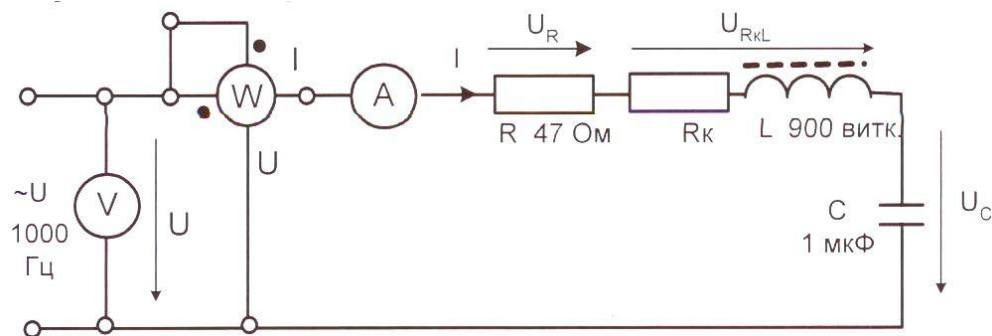


Рис. 8.1. Принципиальная схема электрической цепи

5.3. Установите переключатель сигналов генератора напряжений в положение « », 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.

Таблица 8.1

$f =$Гц	Измерения						Вычисления	
	P , мВт	I , мА	U , В	U_R , В	U_{RKL} , В	U_C , В	$U_{RK} = R_K I$, В	$U_L = \sqrt{U_{RKL}^2 - U_{RK}^2}$, В
$C = 1$ мкФ ($X_L = X_C$)								
$C = 1,47$ мкФ ($X_L > X_C$)								
$C = 0,47$ мкФ ($X_L < X_C$)								

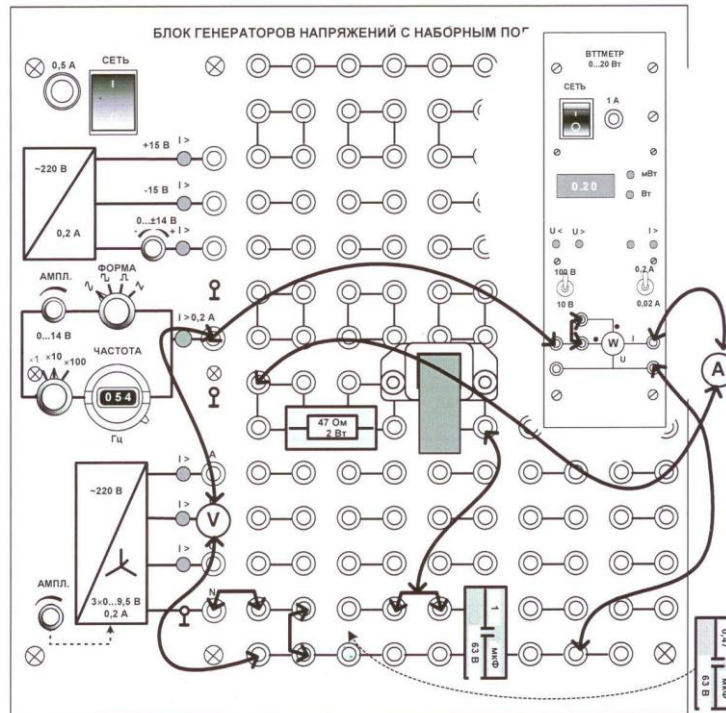


Рис. 8.2. Монтажная схема

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 $I>$, $I<$, $U>$, $U<$.

5.4. Включите параллельно конденсатору 1 мкФ конденсатор 0,47 мкФ и запишите показания приборов в строку $X_L > X_C$ таблицы 8.1.

5.5. Оставьте в цепи один конденсатор 0,47 мкФ и запишите показания приборов в строку $X_L < X_C$ таблицы 8.1.

5.6. По опытным данным рассчитайте напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях катушки и занесите результаты также в табл. 8.1.

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

5.8. По экспериментальным данным определите параметры цепи Z , ϕ , R , X и сведите результаты расчётов в табл. 8.2.

Таблица 8.2

	$\cos \phi = \frac{P}{UI}$	ϕ , град	$\sin \phi$	$Z = \frac{U}{I}$, Ом	$R = Z \cos \phi$, Ом	$X = Z \sin \phi$, Ом
$X_L = X_C$						
$X_L > X_C$						
$X_L < X_C$						

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. Что такое индуктивное, ёмкостное, активное сопротивления?

7.2. Как зависит от частоты индуктивное сопротивление?

7.3. Как зависит от частоты ёмкостное сопротивление?

- 7.4. Что понимают под активной мощностью? Единицы измерения.
- 7.5. Что понимают под реактивной мощностью? Единицы измерения.
- 7.6. Почему активная мощность в цепи с ёмкостью равна нулю?
- 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).
- 7.9. Каковы условия для наступления в цепи резонанса напряжений?
- 7.10. Свойства резонанса напряжений?

Лабораторная работа № 9

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. Коммутационные миниблоки «Амперметр» - 3 шт., катушка индуктивности 900 витков с одной половиной разъемного 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. 9.1а, а монтажная – на рис. 9.2, включив в каждую ветвь миниблок для подключения амперметра. В первом опыте конденсаторы не включайте.

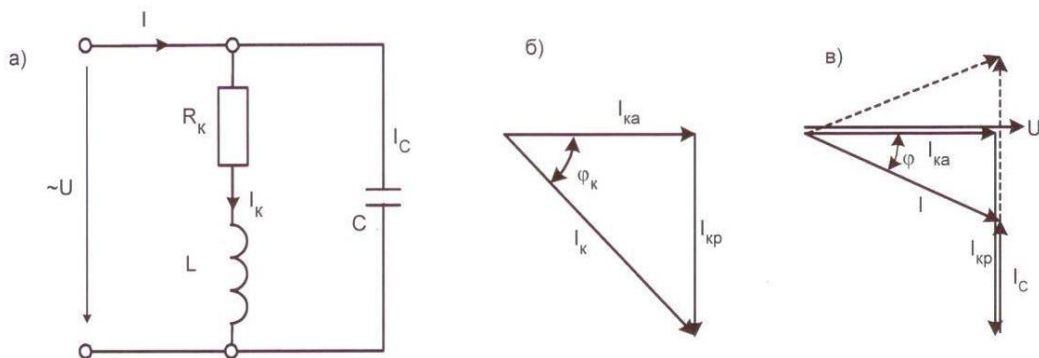


Рис. 9.1. а) Принципиальная схема; б) Треугольник токов катушки индуктивности; в) Треугольник токов цепи с параллельным соединением L и C

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. 9.1.

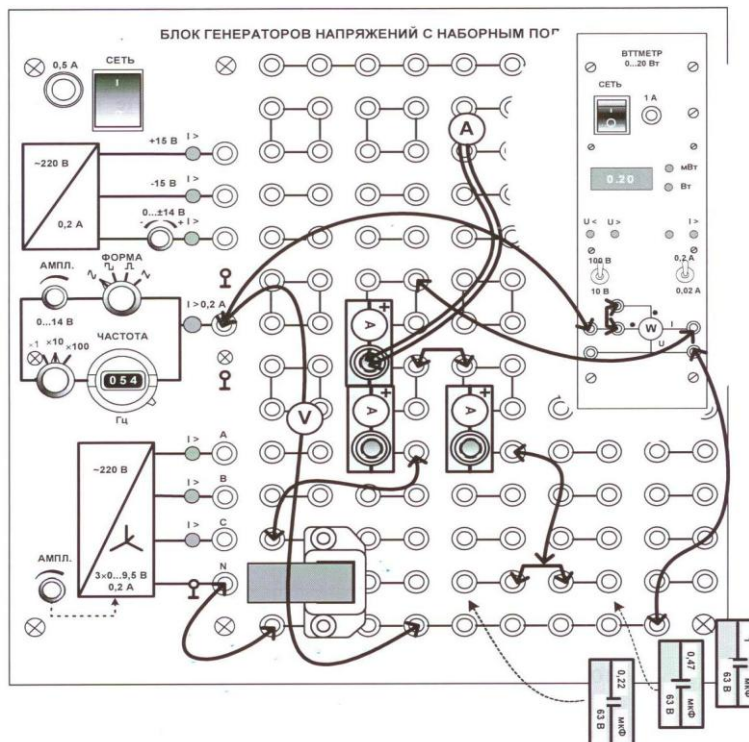
Таблица 9.1

Измерения			Вычисления			
U , В	I , мА	P , мВт	Y_K , 1/Ом	φ_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 поочередно различные конденсаторы (См. рис. 9.2) со значением ёмкости, указанным в первой строке табл. 9.2. Измеряйте и записывайте в табл. 9.2 значения токов в трёх ветвях цепи.

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



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 $C_{рез}$. Сравните её с расчётным значением $C_{рез}$.

6. Требования к отчёту

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.

7.1. 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 ϕ 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 № 10

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.

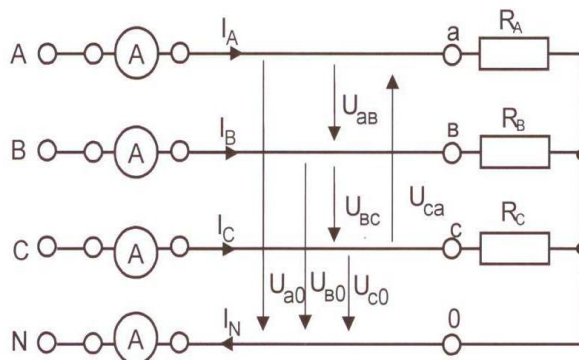


Рис. 10.1. Схема соединения нагрузки звездой

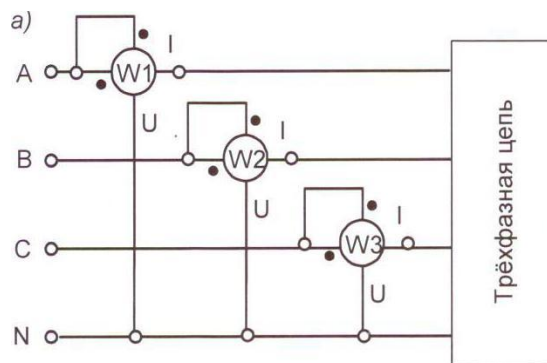


Рис. 10.2. Схема измерения активной мощности

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. 10.1) и монтажной схеме (рис. 10.3).

5.2. Измерьте напряжения и токи на нагрузке в схеме с нейтральным проводом и вычислите мощности. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 10.

(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. 10.2) и вычислите суммарную мощность. Результаты также занесите в таблицу 10.

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

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

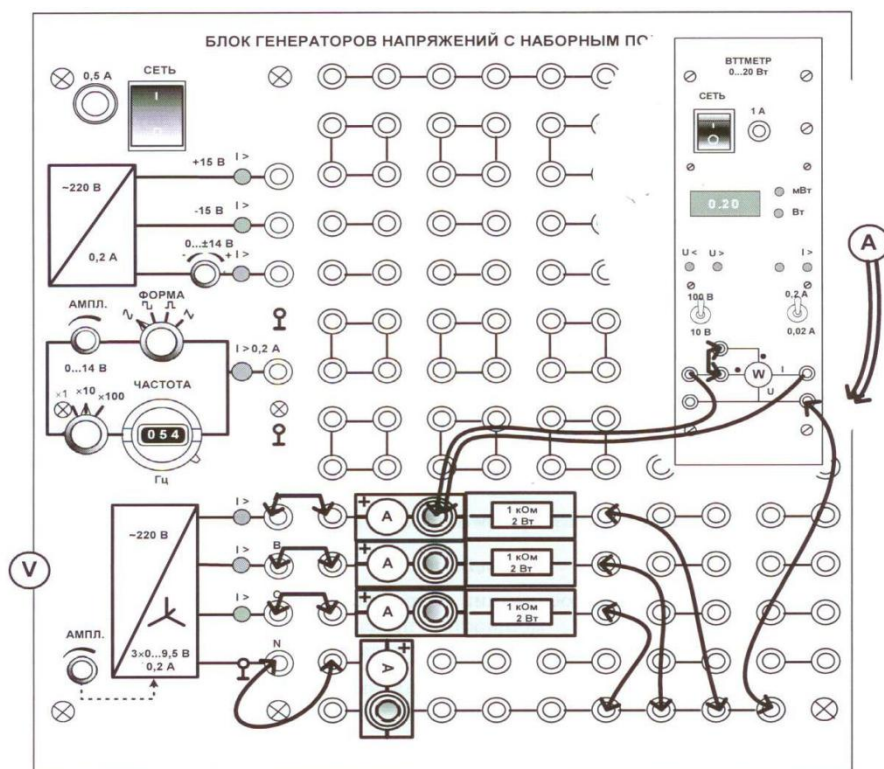


Рис. 10.3. Монтажная схема соединения нагрузки звездой

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

Таблица 10.1

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}						
	U_A						
Измеренные мощности, Вт	P_1						
	P_2						
	P_3						
	$\sum P$						

5.7. Выберите масштабы M_U и M_I и постройте векторные диаграммы напряжений для всех случаев и векторные диаграммы токов для 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 № 11

2 часа

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ТРЁХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ЗВЕЗДОЙ

1. Цель работы

Исследование трёхфазной цепи с нейтральным проводом и без нейтрального провода при обрыве и коротком замыкании фазы «В»

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Лабораторный стенд;
- 2.2. Миниблоки «Амперметр» - 4 шт., резисторы 1 кОм – 3 шт.;
- 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

В трёхфазной цепи при соединении нагрузки звездой измерить токи, напряжения, мощность. Построить в масштабе векторные диаграммы для следующих случаев:

- Симметричная активная нагрузка с нейтральным проводом при обрыве в фазе «В»;
 - Симметричная активная нагрузка без нейтрального провода при обрыве в фазе «В»;
 - Симметричная активная нагрузка с нейтральным проводом при коротком замыкании (КЗ) фазы «В»;
 - Симметричная активная нагрузка без нейтрального провода при КЗ фазы «В».
- Сделать вывод о роли нейтрального провода.

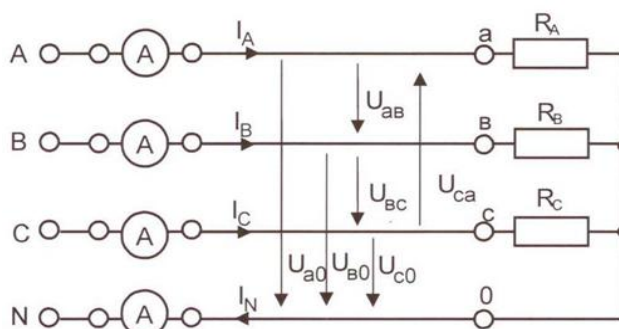


Рис. 11.1. Схема соединения нагрузки звездой

5. Технология работы

5.1. Соберите цепь с симметричной активной нагрузкой ($R_A = R_B = R_C = 1$ кОм) согласно принципиальной схеме соединения нагрузки звездой (рис. 11.1) и монтажной схеме (рис. 11.2).

5.2. Измерьте напряжения и токи на нагрузке в схеме с нейтральным проводом и вычислите мощности. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 11.

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

5.3. Подключая ваттметр сначала в фазу «А», затем в фазу «В» и в фазу «С», измерьте мощности трёх фаз (рис. 11.2) и вычислите суммарную мощность. Результаты также занесите в таблицу 11.

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

5.5. Повторите измерения и вычисления при обрыве в фазе «В» с нейтральным проводом и без нейтрального провода.

5.6. Повторите измерения и вычисления при коротком замыкании в фазе «В» с нейтральным проводом и без нейтрального провода.

5.7. Выберите масштабы и постройте векторные диаграммы напряжений для всех случаев и токов при симметричной активной нагрузке.

5.8. Сделайте вывод о роли нейтрального провода.

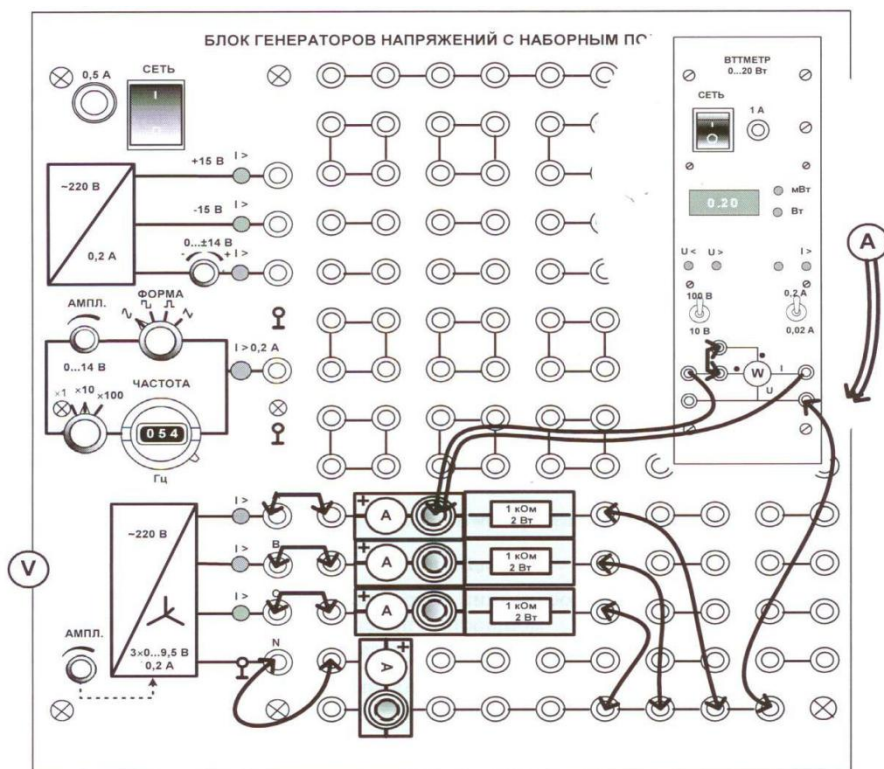


Рис. 11.2. Монтажная схема

Таблица 11.1

Схема «звезда»		Симметричная активная нагрузка		Обрыв в фазе «В»		Короткое замыкание фазы «В»	
		с нейтралью	без нейтрали	с нейтралью	без нейтрали	с нейтралью	без нейтрали
Фазные токи, мА	I_A						
	I_B						
	I_C						
Ток в нейтральном проводе, мА	I_N						
Фазные напряжения, В	U_A						
	U_B						
	U_C						
Напряжение смещения нейтрали, В	U_N						
Линейные напряжения, В	U_{AB}						
	U_{BC}						
	U_{CA}						
Измеренные мощности, Вт	P_A						
	P_B						
	P_C						
	$\sum P$						

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.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Соотношение напряжений (фазного U_ϕ и линейного U_L) при симметричной нагрузке, соединённой звездой.
- 7.2. Что такое «перекос фаз»? Как уменьшить «перекос фаз»?
- 7.3. Как изменятся при обрыве фазы A (C) напряжение и ток в оставшихся фазах при наличии нейтрального провода?
- 7.4. Как изменятся при обрыве фазы $A(C)$ напряжение и ток в оставшихся фазах без нейтрального провода?
- 7.5. Как изменятся при коротком замыкании фазы $A(C)$ напряжение и ток в оставшихся фазах при наличии нейтрального провода?
- 7.6. Как изменятся при коротком замыкании фазы $A(C)$ напряжение и ток в оставшихся фазах без нейтрального провода?
- 7.7. Роль нейтрального провода.

Лабораторная работа № 12

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. Проверить баланс мощностей и построить в масштабе векторные диаграммы для следующих случаев:

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

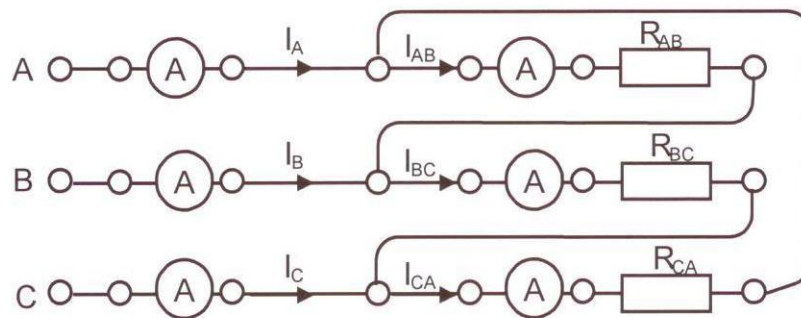


Рис. 12.1. Схема соединения нагрузки треугольником

5. Технология работы

5.1. Соберите цепь с симметричной активной нагрузкой ($R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} = 1 \text{ кОм}$) согласно принципиальной схеме (рис. 12.1) и монтажной схеме (рис. 12.2).

5.2. Измерьте мультиметрами напряжения и токи, указанные в табл. 12.1 и вычислите мощности. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 12.1.

(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 12.1.

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

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

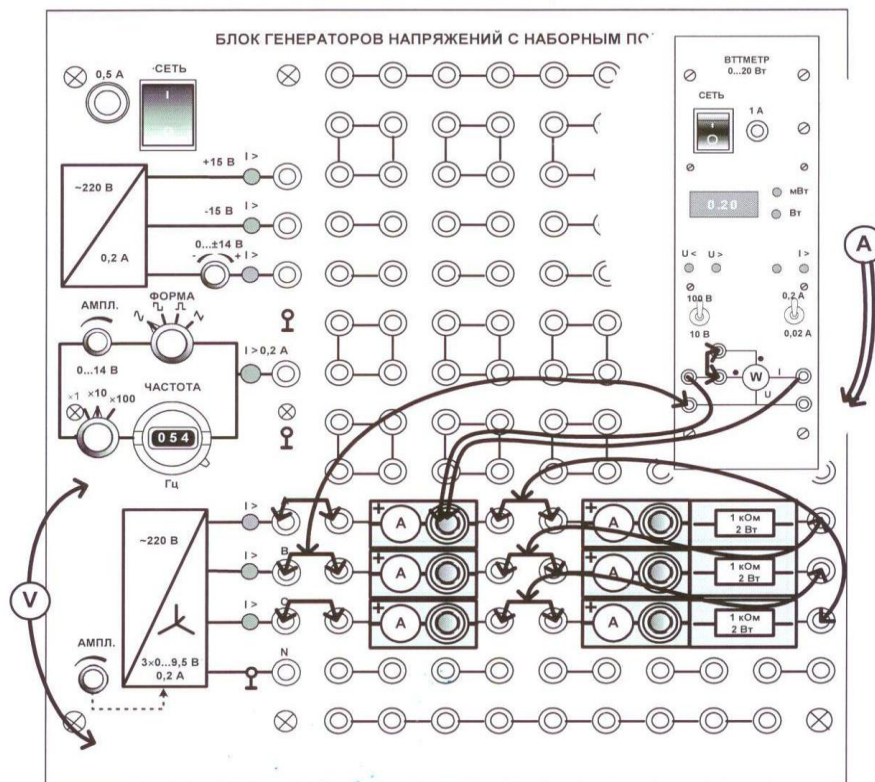


Рис. 12.2 Монтажная схема

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 $\varphi_{CA} = \arccos P_{CA}/S_{CA}$.

Таблица 12.1

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}			
Рассчитанные мощности, мВт	P_{AB}			
	P_{BC}			
	P_{CA}			
	ΣP			
Измеренные мощности, мВт	P_1			
	P_2			
	ΣP			

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_ϕ 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 № 13

2 часа

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ В ТРЁХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

1. Цель работы

Исследование трёхфазной цепи в режиме обрыва фазного или линейного проводов

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Лабораторный стенд;
- 2.2. Миниблоки «Амперметр» - 6 шт., резисторы 1 кОм – 3 шт.;
- 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 и активных мощностей при обрыве провода в фазе «AB» и при обрыве линейного провода «B».

Проанализировать характер изменения фазных напряжений, токов и мощностей приёмника, а также линейных токов в указанных режимах обрыва фазы или линии.

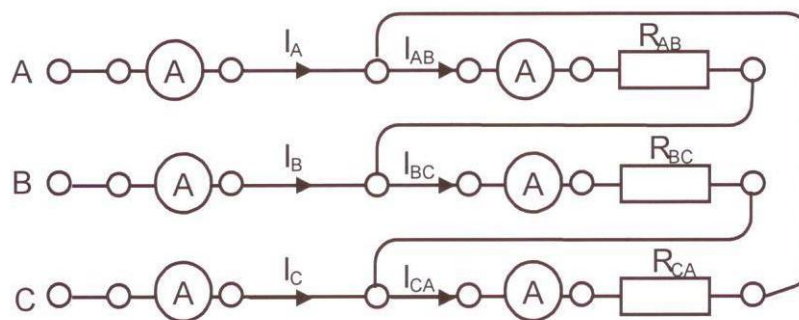


Рис. 13.1. Схема соединения нагрузки треугольником

5. Технология работы

5.1. Соберите цепь с симметричной активной нагрузкой ($R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} = 1 \text{ кОм}$) согласно принципиальной схеме (рис. 13.1) и монтажной схеме (рис. 13.2).

5.2. Измерьте ваттметром активные мощности фаз, а мультиметрами измерьте напряжения и токи, указанные в табл. 13.1. Результаты измерений занесите в табл. 13.1.

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

5.3. Повторите измерения при разомкнутом проводе в фазе «BC». Результаты также занесите в таблицу 13.1.

5.4. Восстановите провод в фазе «BC» и повторите измерения при разомкнутом линейном проводе «B». Изобразите схему электрической цепи для этого случая.

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

6. Требования к отчёту

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести принципиальную схему нагрузки, соединённой треугольником; таблицу; схему при обрыве линейного провода «B»; векторные диаграммы напряжений и токов в масштабе.

6.2. Графические построения выполнять с применением чертёжных инструментов.

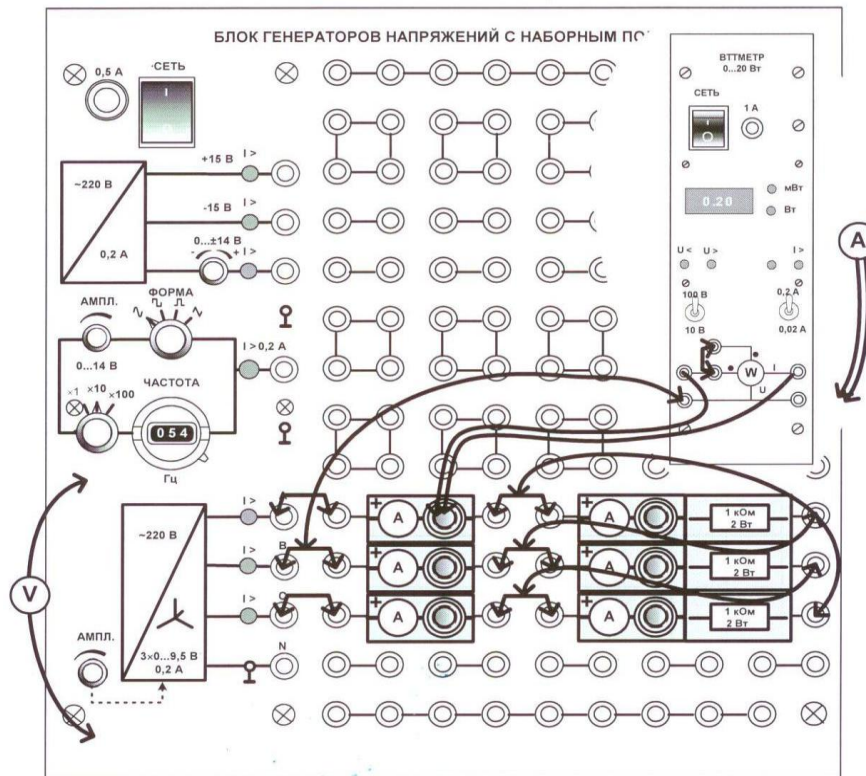


Рис. 13.2. Монтажная схема

Таблица 13.1

Соединение «треугольник»		Симметричная активная нагрузка	Обрыв в фазе BC	Обрыв линейного провода B
Фазные токи, мА	I_{AB}			
	I_{BC}			
	I_{CA}			
Линейные токи, мА	I_A			
	I_B			
	I_C			
Фазные напряжения, В	U_{AB}			
	U_{BC}			
	U_{CA}			
Активные мощности, мВт	P_{AB}			
	P_{BC}			
	P_{CA}			
	P_{Σ}			

7. Контрольные вопросы

7.1. Соотношение напряжений, фазного U_{ϕ} и линейного U_L , при соединении приемников энергии треугольником.

7.2. Соотношение фазных и линейных токов при симметричной нагрузке, соединённой треугольником.

7.3. Как изменятся при обрыве фазы « AB » (« CA ») напряжение и ток в оставшихся фазах?

7.4. Как изменятся при обрыве фазы « AB » (« CA ») линейные токи?

7.5. Как изменятся при обрыве линейного провода « A » (« C ») напряжение и ток в фазах приёмника?

7.6. Как изменятся при обрыве линейного провода « A » (« C ») токи в линиях « B » и « C »?

Лабораторная работа № 14
2 часа
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

1. Цель работы

Экспериментальное установление зависимости амплитуды магнитного потока от действующего значения приложенного напряжения и частоты; исследование формы магнитного потока и тока при синусоидальном напряжении

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Лабораторный стенд;
- 2.2. Осциллограф, миниблоки «Магнитная цепь» и «Интегратор», резистор 10 Ом;
- 2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

3. Литература

- 1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 13.2-13.5

4. Задание

С помощью осциллографа убедиться, что при синусоидальном приложенном напряжении магнитный поток в катушке также синусоидальный, а форма тока может отличаться от синусоиды. Снять экспериментально и проверить расчётом зависимость амплитуды магнитного потока от действующего значения приложенного напряжения и от частоты.

Проследить на осциллографе за изменением формы и величины магнитного потока и тока при изменении воздушного зазора.

Получить на экране осциллографа петлю гистерезиса, проследить за изменением петли при изменении зазора в магнитопроводе.

5. Технология работы

5.1. Соберите цепь согласно принципиальной схеме (Рис. 14.1) и монтажной схеме (Рис. 14.2). Для начала включите осциллограф для наблюдения кривой тока (как показано на монтажной схеме).

5.2. Включите генератор напряжений, установите частоту синусоидального сигнала 400...500 Гц и амплитуду примерно 5 В.

5.3. Включите осциллограф, установите развёртку 0,2 мс/дел и отрегулируйте усиление так, чтобы на экране полностью помещалась кривая тока в намагничивающей катушке.

5.4. Увеличивая и уменьшая амплитуду приложенного напряжения, проследите за изменениями амплитуды и формы кривой тока. Сделайте выводы.

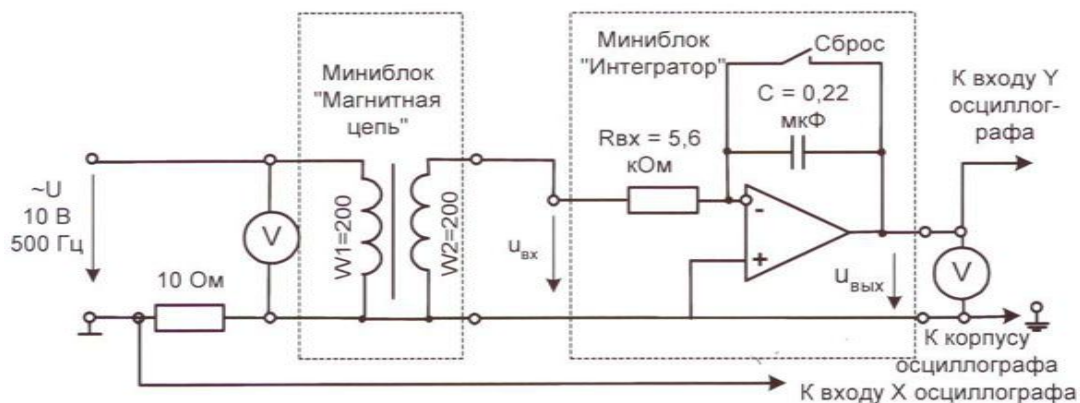


Рис. 14.1. Принципиальная схема установки

5.5. Переключите вход Y осциллографа на выход интегратора для наблюдения кривой магнитного потока. Отрегулируйте усиление и, изменяя приложенное напряжение, проследите за изменением магнитного потока. Сделайте выводы.

Таблица 14.1

U, В	2	3	4	5	6
$U_{\text{вых}}$					
$\Phi_m \cdot 10^{-6}$, Вб (эксперим.)					
$\Phi_m \cdot 10^{-6}$, Вб (расчётн.)					

5.6. Увеличивая напряжение U согласно табл. 14.1, снимите зависимость напряжения на выходе интегратора $U_{\text{вых}}$ от напряжения на входе цепи U , результаты занесите в табл. 14.1.

5.7. Рассчитайте график изменения амплитуды магнитного потока от напряжения на катушке $\Phi_m = \frac{RC}{w_2} \sqrt{2} U_{\text{вых}}$, результаты занесите в табл. 14.1 (эксперим.) и постройте экспериментальный график $\Phi_m = f_1(U)$.

5.7. Рассчитайте этот же график по формуле $\Phi_m = \frac{U}{4,44 f w_1}$, результаты занесите в табл. 14.1 (расчётн.), постройте расчётный график $\Phi_m = f_2(U)$ на том же рисунке, что и экспериментальный, сравните графики.

5.8. Установите напряжение на входе цепи 5 В и, изменяя частоту приложенного напряжения согласно табл. 14.2, снимите зависимость напряжения на выходе интегратора от частоты. Результаты занесите в табл. 14.2.

5.9. Рассчитайте экспериментальную и расчётную зависимость амплитуды магнитного потока от частоты по тем же формулам и постройте графики $\Phi_m = f(f)$.

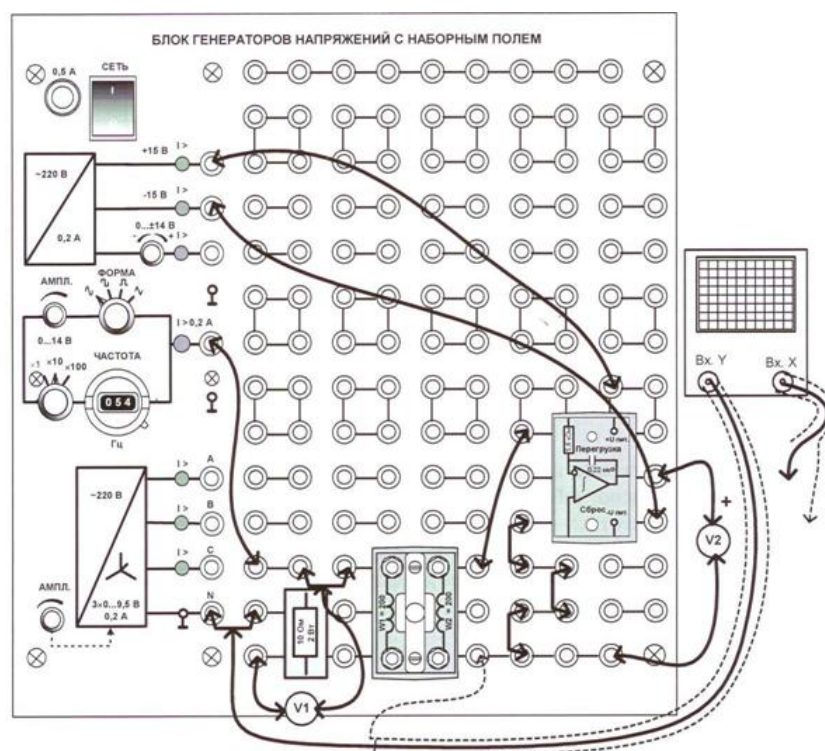


Рис. 14.2. Монтажная схема

5.10. Подсоедините входы осциллографа X и Y как показано на принципиальной схеме рис. 14.1 для наблюдения петли гистерезиса.

5.11. Переключите осциллограф в режим X-Y и проследите за изменением петли гистерезиса при изменении приложенного напряжения и при изменении зазора в магнитопроводе. Для изменения зазора необходимо выключить питание, вывернуть слегка

регулирующий винт, вставить в образовавшиеся зазоры полоски бумаги, снова затянуть винт и включить питание. Сделайте выводы.

Таблица 14.2

$f, \text{Гц}$	500	1000	1500	2000	2500
$U_{\text{вых}}, \text{В}$					
$\Phi_m, 10^{-6} \text{Вб (эксперим.)}$					
$\Phi_m, 10^{-6} \text{Вб (расчётн.)}$					

6. Требования к отчёту

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести таблицы, необходимые расчёты, рисунки с экспериментальными и расчётными графиками зависимости амплитуды магнитного потока от напряжения на катушке $\Phi_m = f(U)$ и зависимости амплитуды магнитного потока от частоты $\Phi_m = f(f)$.

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. Векторная диаграмма идеальной катушки с ферромагнитным сердечником.

7.2. Почему ток в катушке со стальным сердечником при синусоидальной форме входного напряжения отличается от синусоиды?

7.3. Потери энергии в ферромагнитном сердечнике катушки.

7.4. Векторная диаграмма катушки с учётом потерь энергии в сердечнике.

7.5. Полная векторная диаграмма катушки с ферромагнитным сердечником.

7.6. Схемы замещения катушки с ферромагнитным сердечником, их параметры.

Лабораторная работа № 15

2 часа

ИСПЫТАНИЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

1. Цель работы

Испытание трансформатора при холостом ходе (ХХ), коротком замыкании (КЗ) и в рабочем режиме. Определение основных параметров трансформатора, построение нагрузочной характеристики.

2. Обеспечивающие средства

- 2.1. Лабораторный стенд;
- 2.2. Коммутационные миниблоки «Амперметр» - 2 шт., резистор 100 Ом;
- 2.3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

3. Литература

1. Аполлонский С. М. Электротехника [Электронный ресурс]
- 3.2. Л.И.Фуфаева «Электротехника», §§ 13.2-13.5

4. Задание

Проделать опыты холостого хода и короткого замыкания и определить основные параметры трансформатора с разъёмным сердечником и сменными катушками, номинальные параметры которого приведены в таблице 15.1. Снять нагрузочную характеристику и зависимость коэффициента полезного действия (КПД) от нагрузки.

Таблица 15.1

W	U_H , В	I_H , мА	R, Ом	S_H , ВА
100	2,33	600	0,9	1,4
300	7	200	4,8	1,4
900	21	66,7	37	1,4

5. Технология работы

5.1. Соберите трансформатор с числом витков $w_1 = 300$, $w_2 = 100$, 300 или 900 по указанию преподавателя.

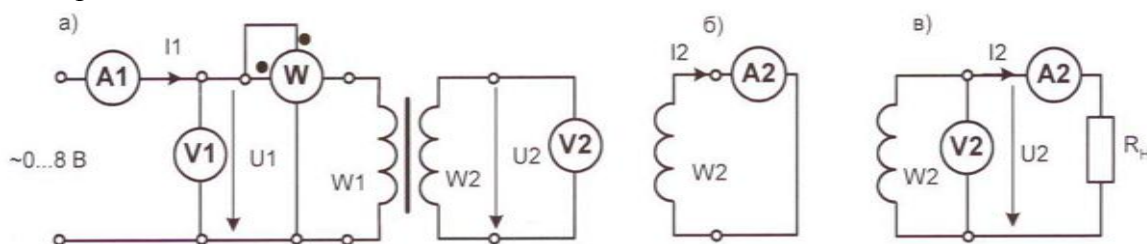


Рис. 15.1. Схемы опытов а) холостого хода (ХХ), б) короткого замыкания (КЗ), в) снятие нагрузочной (внешней) характеристики

5.2. Соберите цепь согласно монтажной схеме (Рис. 15.2), нагрузочный резистор пока не включайте согласно принципиальной схеме опыта ХХ (Рис. 15.1.а).

5.3. Включите генератор, установите на его выходе напряжение $U = 7$ В, сделайте измерения при холостом ходе ($R_H = \infty$) и запишите результаты в таблицу 15.2. Вычислите коэффициент трансформации U_1/U_2 , ток I_{XX} % (в % от номинального) и запишите в таблицу 15.2 (строка ХХ).

5.4. Проделайте опыт короткого замыкания. Для этого вставьте перемычку вместо R_H . Отрегулируйте напряжение источника так, чтобы первичный ток стал равен номинальному току (200 мА) обмотки 300 витков. Запишите результаты измерений в табл. 15.2 (строка КЗ). Вычислите коэффициент трансформации I_2/I_1 , напряжение короткого замыкания $U_{KЗ}$ % и тоже запишите в таблицу 15.2.

5.5. Снимите нагрузочную характеристику трансформатора. Для этого включайте поочередно сопротивления нагрузки, указанные в таблице 15.3, и делайте измерения с первичной и вторичной стороны трансформатора.

Примечание: В табл. 15.3 указаны значения сопротивлений R_H для случая, когда $w_1 = w_2 = 300$ витков. При $w_2 = 900$ витков их надо увеличить, а при $w_2 = 100$ витков – уменьшить в 10 раз.

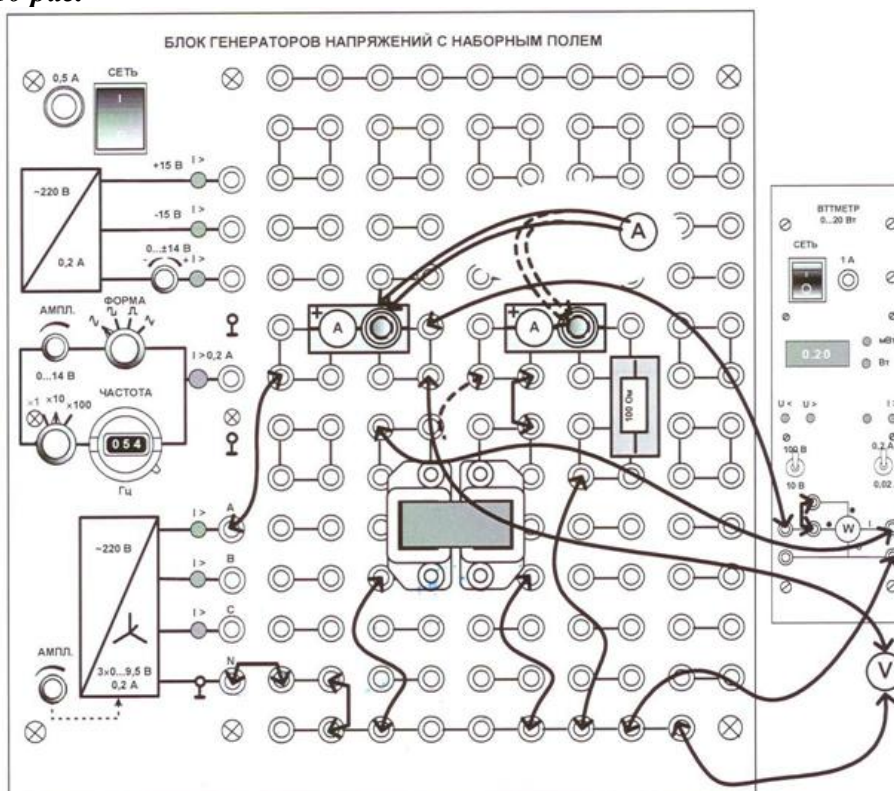


Рис. 15.2. Монтажная схема

Таблица 15.2

Опыт	U_1 , В	U_2 , В	I_1 , мА	I_2 , мА	P_1 , Вт	φ_1 , град.	U_1/U_2	I_2/I_1	U_{K3} , %	I_{XX} , %
XX				-				-	-	
K3		-					-			-

Таблица 15.3

R_H , Ом	U_2 , В	I_2 , мА	P_1 , мВт	P_2 , мВт	$U_2/U_{2НОМ}$, %	$I_2/I_{2НОМ}$, %	кпд, %
х.х.							
330							
220							
100							
47							
22							

5.6. Рассчитайте $P_2 = U_2 \cdot I_2$, $I_2 / I_{2НОМ} \%$, $U_2 / U_{2НОМ} \%$, $кпд$ ($k = P_2 / P_1$) и постройте в масштабе графики $P_2 = f_1(R_H)$; $U_2 / U_{2НОМ} \% = f_2(R_H)$; $I_2 / I_{2НОМ} \% = f_3(R_H)$; $k = f_4(R_H)$.

6. Требования к отчёту

6.1. В отчёте необходимо указать номер работы, тему, цель, привести таблицы, необходимые расчёты, рисунки с экспериментальными и расчётными графиками зависимости амплитуды магнитного потока от напряжения на катушке $\Phi_m = f(U)$ и зависимости амплитуды магнитного потока от частоты $\Phi_m = f(f, \dots)$.

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. Назначение трансформаторов.
- 7.2. Устройство трансформаторов.
- 7.3. Трансформаторная ЭДС.
- 7.4. Коэффициент трансформации.
- 7.5. Номинальные параметры трансформатора.

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. Фуфаева, Л.И. Электротехника : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.И.Фуфаева. – Москва : Академия, 2015. – 384 с.
2. Прошин, В.М. Электротехника для неэлектротехнических профессий : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.М.Прошин. – М. : Издательский центр «Академия», 2014. – 464 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).