

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет физико-математических
и естественных наук

Кафедра
«Общая физика
и методика обучения физике»

Направление подготовки 44.03.05 «Педагогическое образование»
(с двумя профилями подготовки)
Профили подготовки «Физика. Технология»

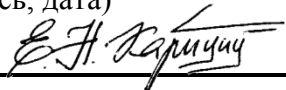
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему:

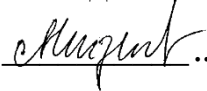
**«ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕНДОВЫХ МАКЕТОВ ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ НА
ФАКУЛЬТАТИВНЫХ ЗАНЯТИЯХ ПО ФИЗИКЕ»**

Студент  11.06.2020 г. Грушина Виктория Дмитриевна
(подпись, дата) (Ф.И.О. полностью)

Руководитель  11.06.20 г. Калинин Е.Н.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр  11.06.20 г. Калинин Е.Н.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от _____ № ____)

Заведующий кафедрой.....  Казаков А.Ю.
(подпись) (фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой ____ (протокол заседания ГЭК от _____ № ____)

Секретарь ГЭК..... Паскевич Н.В.
(подпись) (фамилия, инициалы)

Пенза, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Цель и задачи бакалаврской работы.....	4
 ГЛАВА 1. ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ	
1.1. Стендовые макеты.....	5
1.2. Преимущества и особенности использования стендовых макетов.....	6
1.3. Факультативные занятия по физике с использованием макетов.....	7
 ГЛАВА 2. ВВОДНЫЙ КУРС ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ НА ФАКУЛЬТАТИВНЫХ ЗАНЯТИЯХ ПО ФИЗИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕНДОВЫХ МАКЕТОВ	
2.1. Техника безопасности при проведении экспериментов по электротехнике ..	10
2.2. Изготовление стендового макета по теме «Переменный ток»	
2.2.1. Описание макета.....	13
2.2.2. Номенклатура и описание используемых деталей	15
2.2.3. Порядок сборки макета	15
2.3. Лабораторный практикум по теме «Переменный ток»	
2.3.1. Метод амперметра и вольтметра.....	18
2.3.2. Резонанс токов.....	22
2.3.3. Резонанс напряжений.....	24
2.3.4. Мощность в цепи переменного тока.....	25
2.4. Факультатив по физике с использованием стендового макета	27
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	36
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	37

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день основное общее образование реализуется в рамках Федерального государственного стандарта. Личностные результаты усвоения основной образовательной программы основного общего образования должны отражать «формирование ответственного отношения к обучению, готовность и способность обучающихся к саморазвитию и самообразованию на основе мотивации к обучению и познанию, осознанному выбору и построению дальнейшей индивидуальной траектории», ориентируясь в предпочтениях и мире профессий, учитывая устойчивые познавательные интересы. Следовательно, необходимо решать проблему формирования познавательного интереса у подрастающего поколения.

Современному обществу необходимы люди, умеющие мыслить по новому, способные ставить для себя цели и находить способы их достижения. Перед школой стоит задача с помощью обучения развить эти качества у детей.

Пробуждение когнитивных интересов является главной основой движущей силы развития образа мышления учащихся и процесса обучения. По утверждениям современной дидактики проявление интереса является важнейшим фактором развития, обучения и формирования личности ученика.

Педагогика в настоящее время сталкивается с проблемой повышения интереса учащихся к обучению. Одной из причин потери интереса является непригодность ряда традиционных методов обучения для нынешнего студенческого населения. У молодых людей сегодня очень развита самооценка и чувство самосознания, у них много идей, поэтому уроки, основанные на авторитарном давлении, приказах, инструкциях и необоснованных утверждениях, вызывают у них только раздражение и скуку. Решение проблемы формирования познавательных интересов можно найти в потребностях общества и практики обучения подрастающего поколения.

Физика как учебная дисциплина, как правило, не пользуется популярностью у школьников, но несет в себе мощное мировоззрение, моральное бремя. Поэтому

одной из актуальных проблем образования, сегодня является развитие познавательных способностей человека и развитие интересов на уроках физики и внеурочной деятельности.

Цель бакалаврской работы заключается в формирование и развитие познавательного интереса на факультативных занятиях по физике у учащихся, применяя стендовые макеты по электронике.

Исходя из цели, были поставлены следующие **задачи**:

1. Провести анализ научно-методической и психолого-педагогической литературы по данной теме.
2. Выполнить разработку и изготовить по ней стендовый макет по электронике на тему «Исследование цепей переменного тока».
3. Разработать лабораторный практикум по исследованию цепей переменного тока: «Метод амперметра и вольтметра», «Резонанс токов», «Резонанс напряжений » и «Мощность в цепи переменного тока».
4. Разработать конспект факультативного занятия по физике с использованием стендового макета.

ГЛАВА 1. ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ

1.1. СТЕНДОВЫЕ МАКЕТЫ

Принцип наглядности входит в основу принципа обучения. При его соблюдении во время изучения физики в средней школе облегчается усвоение учениками учебного материала, а также данный принцип способствует формированию у школьников научных представлений о физических явлениях и процессах, обеспечивает крепкие и глубокие знания.

Физика входит в группу из самых сложных предметов, изучаемых в школе, не только для понимания, но и для преподавания. К счастью, активное применение наглядных пособий на уроке позволяет облегчить работу педагога и повысить качество преподавания предмета в соответствие с высокими современными стандартами [13].

Часто на занятии невозможно показать природные объекты и явления. Происходит это по разным причинам: вред для здоровья (испарение ртути, радиоактивные вещества); слишком большого размера (космический корабль), маленького размера (кристаллическая решетка, молекула). Иногда, для нас не видны взаимодействия составных частей природных объектов (двигатель внутреннего горения, гидравлический домкрат). Бывает, что опыты невозможно провести из-за отсутствия необходимого оборудования [1].

Хорошим помощником для педагогов в данных случаях являются наглядные пособия, которые в свою очередь можно разделить на группы (рис. 1):

1. объемные (модели, макеты, коллекции);
2. плоскостные (таблицы, плакаты, монтажи, диаграммы, рисунки, записи и зарисовки на доске).

В учебном процессе у наглядных средств есть определенная задача – повысить эффективность восприятия учебной программы по данному предмету.

Стендовые макеты – научное (экспериментальное) оборудование, предназначенное для исследовательских опытов, изучения свойств объектов и процессов.

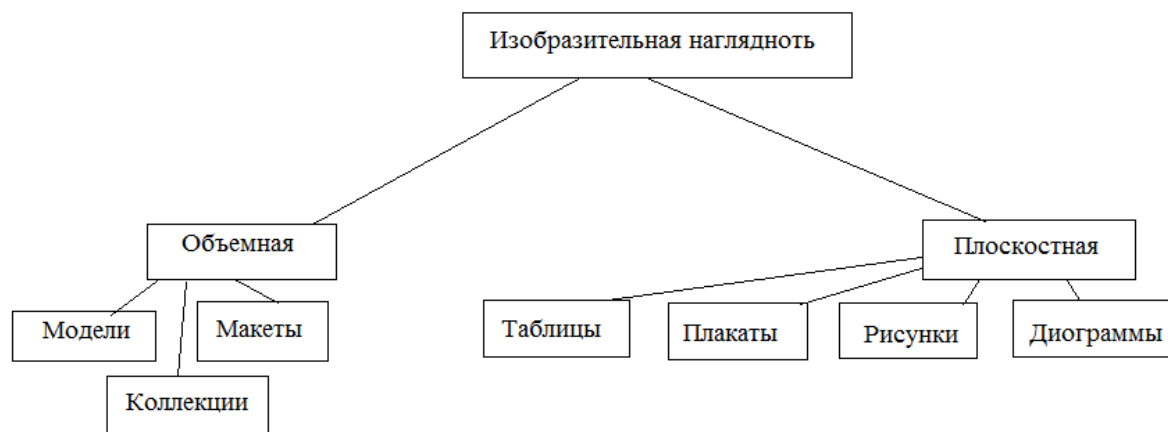


Рис. 1. Пособия наглядности

Они являются характерной чертой проведения лабораторных практикумов в традиционной форме. Стендовые макеты – это комплекс оборудования, который предназначен для изучения на нем экспериментальным путем физических явлений и технических параметров объектов [13].

1.2. ПРЕИМУЩЕСТВА И ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕНДОВЫХ МАКЕТОВ

Как известно, учебно-лабораторные практикумы занимают значительное место в учебном процессе. Это довольно своеобразная часть образовательного процесса, которая, с одной стороны, предназначена для решения задачи практического закрепления знаний и навыков, приобретенных учениками в теоретической части обучения, а с другой – требует организации достаточно значительной аппаратно-технической базы в образовательном учреждении.

Современные средства для обучения имеют достаточно широкие возможности, чтобы сделать учебный процесс разнообразнее и более увлекательным для любого ученика.

На сегодняшний день установлено, что использование интерактивных мультимедийных образовательных ресурсов повышает эффективность образовательного процесса. Образовательные ресурсы лучше всего соответствуют этим требованиям. Примером таких ресурсов является стендовые макеты.

Работая над лабораторными работами по физике, ученики нарабатывают навыки проведения экспериментов и опытов, а также осваивают приборы и оборудование. Появляется возможность самостоятельного обучения и формулирования выводов из полученных экспериментальных данных, а значит и более глубокого и полного усвоения теоретического материала.

Преимущества стендовых макетов:

- экономится время учителя на уроке;
- меры безопасности выше, чем при обычных условиях;
- нет необходимости заново собирать установку перед каждым занятием, тратить время на осмотр приборов и их установку;
- можно провести несколько экспериментов за короткое время при разных начальных условиях, затем обобщить результаты и сделать вывод;
- наглядность установок [11].

1.3. ФАКУЛЬТАТИВНЫЕ ЗАНЯТИЯ ПО ФИЗИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАКЕТОВ

Чтобы расширить знания и улучшить трудовую подготовку, удовлетворить интересы и развить способности учащихся, в школе вводят факультативные занятия.

Факультативы по физике формируются на основной программе общеобразовательной школы, только более углубленно. На занятиях физики в школьной программе не распространено применение самостоятельных экспериментов.

К сожалению, фронтальные эксперименты, не вызывают у учеников большого интереса к предмету. А ведь физика – наука экспериментов и опытов. Её значимость состоит в естественных природных законах, которые она изучает, и раскрывается как раз на основании экспериментальных данных. Без навыков и умений экспериментирования невозможно делать правильные выводы при изучении естественных наук.

Если ученик как можно раньше начнет проводить физические опыты, уже не сможет остановиться, так как экспериментальная физика очень увлекательна как наука, используя ее методы можно на собственном опыте разъяснить природные явления, а так же, не исключено, открыть новые [13].

Именно благодаря опытам и экспериментам повышается уровень усвоения науки, а так же ее интерес к ее изучению. И учитель играет большую роль в этом процессе, он, по сути, является нитью, соединяющей ученика и предмет.

Основные задачи факультативных занятий:

1. раскрытие форм проявления явлений физики и законов природы в повседневной жизни;
2. развитие устойчивости познавательных интересов в процессе изучения физики и ее техническим приложениям;
3. формирование навыков самостоятельности при приобретении знаний по физике;
4. профориентация школьников и технологическое образование;
5. углубленное знакомство обучающихся с такими понятиями как: физическая величина, измерительные приборы, методы измерений, погрешности измерения, экспериментальное исследование, расчетная формула, задача повышенной сложности.

Факультативы могут проводиться в разной форме:

- рассказ учителя;
- эвристическая беседа;
- демонстрация и анализ занимательных физических опытов;
- различные виды самостоятельной работы (с учебной, научно-популярной и справочной литературой, физические эксперименты, решение задач, изготовление наглядных пособий и дидактических материалов);
- экскурсии;
- просмотр видео и т. д.

Для того чтобы школьники могли самостоятельно проводить физические опыты нужно стандартное оборудование, самодельные приборы и установки,

стендовые макеты, поэтому кабинет физики должен быть оснащен всеми необходимыми инструментами.

Цели и задачи факультативных занятий:

1. создание условий для формирования и развития познавательного интереса учащихся;
2. приобретение интеллектуальных и практических навыков в области физического эксперимента, привитие интереса к изучению физики и проведению физического эксперимента;
3. навыки самостоятельного приобретения и использования знаний;
4. развитие творческих способностей;
5. навыки и умения работы в группах;
6. обучение ведения дискуссии;
7. умения отстаивать и обосновывать свою точку зрения.

Уровень достижения результатов обучения учеников проверяется при изготовлении оборудования, проведении самостоятельного исследования в соответствии с этапами цикла познания: наблюдением за явлением, выдвижение гипотезы, подбора приборов и выбора материалов для проведения опыта, предоставление результатов эксперимента, построение выводов, при решении определенной задачи. На последнем этапе проводится защита и обсуждение результатов исследования [15].

ГЛАВА 2. ВВОДНЫЙ КУРС ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ НА ФАКУЛЬТАТИВНЫХ ЗАНЯТИЯХ ПО ФИЗИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕНДОВЫХ МАКЕТОВ

2.1. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Инструкция по правилам безопасности для учащихся в кабинете физики и электротехники

Общие требования безопасности

1. Все школьники, находящиеся в кабинете физики обязаны соблюдать требования настоящих инструкций.
2. Входить и выходить из кабинета следует спокойно, без спешки, соблюдать дисциплину и порядок.
3. Необходимо соблюдать требования инструкций по проведению лабораторных и практических работ.
4. Без уведомления учителя присутствие посторонних во время проведения работ запрещено.
5. Не разрешено ставить портфели, сумки и т. п. в проходах.
6. Запрещено переставлять учебные столы и стулья.
7. Запрещено вставлять предметы в электрические розетки.
8. Следует избегать травм: поражение электрическим током, порезы разбитым стеклом, ушибы при ношении физических устройств.

Требования безопасности перед началом занятий

1. Входить в кабинет следует после разрешения учителя.
2. Не включать электрическое освещение или электрические приборы.
3. Не открывать самостоятельно форточки, фрамуги и окна.
4. Необходимо подготавливать свое рабочее место и учебные принадлежности до начала урока.
5. Прежде чем приступить к работе, изучите процедуру ее выполнения по учебнику или пособию.

6. Прослушать инструкции по ТБ труда во время выполнения практических и лабораторных работ.

7. Исключая возможность падения при размещении оборудования, приборов и материалов.

Требования безопасности во время занятий

1. Начинать выполнение практических занятий только с разрешения учителя.

2. Учитель должен осмотреть подготовленный к работе прибор.

3. Следует начинать выполнять работу и каждый из её этапов по инструкциям учителя.

4. Не проводить самостоятельных экспериментов, не входящих в задания работы.

5. Не оставлять электрические приборы без присмотра.

6. Поддерживать порядок и чистоту рабочего места.

7. Не ремонтировать неисправности оборудования самостоятельно.

8. Не покидать свое рабочее место без разрешения учителя.

9. Не прикасаться к вращающимся под электричеством машинам, к корпусам стационарного электрооборудования.

10. Подключаться к электрическим машинам после полной остановки якоря или ротора.

Инструкция по технике безопасности для учащихся для кабинета физики и электротехники

1. Следуйте инструкциям учителя. Будьте осторожны и дисциплинированы.

2. Не начинайте работу без разрешения учителя.

3. Разместите приборы, материалы и оборудование на рабочем месте, чтобы они не могли упасть или опрокинуться.

4. Перед выполнением работы тщательно изучить содержание и ход выполнения.

5. Во избежание падения во время экспериментов стеклянную посуду (пробирки, колбы) следует аккуратно закреплять в лапке штатива.

6. Не допускайте предельных нагрузок измерительных приборов при проведении экспериментов. Особая осторожность требуется при работе со стеклянными приборами. Не вынимайте термометры из пробирок с затвердевшим веществом.

7. Контролировать исправность всех креплений в приборах и приспособлениях. Не прикасайтесь к вращающимся частям машин и механизмов и не наклоняйтесь (особенно, если волосы не убраны).

8. Используйте провода (с наконечниками и предохранительными чехлами) с сильной изоляцией без видимых повреждений, выполняя сборку экспериментальных установок.

9. Избегайте пересечения проводов при сборке электрической цепи, запрещается пользоваться проводниками с изношенной изоляцией и выключателями открытого типа (при напряжении свыше 42 В).

10. Подключайте источник питания последним к электрической цепи. Включать собранную цепь только после проверки и с согласия преподавателя. Наличие напряжения в цепи можно проверить только с помощью приборов или индикаторов напряжения.

11. Не прикасайтесь к находящимся под напряжением элементам цепей, лишенным изоляции. Не производите пересоединения в цепях и смену предохранителей до отключения источника электропитания.

12. Следите за тем, чтобы во время работы случайно не коснуться вращающихся частей электрических машин. Не производите присоединения в цепях и смену предохранителей в электрических цепях машин до полной их остановки.

13. Не прикасайтесь к корпусам стационарного электрооборудования, к зажимам отключенных конденсаторов.

14. Пользуйтесь инструментами с изолирующими ручками.

15. Отключайте источник электропитания по окончании работы, после чего разбирайте электрическую цепь.

16. Не оставляйте рабочие места не поставив в известность учителя.

17. Немедленно отключайте источник электропитания и сообщайте об этом учителю, если обнаружится неисправность в электрических устройствах, которые находятся под напряжением.

18. Для присоединения потребителей к сети пользуйтесь щетселевыми соединениями.

Инструкция по технике безопасности для учащихся на лабораторных работах по физике и электротехнике (общие требования безопасности)

1. Данная инструкция обязательна для всех студентов, допущенных к лабораторным и практическим курсам физики по состоянию здоровья.

2. Травмоопасность: при работе со спиртовками; при работе с горячими жидкостями; при работе со стеклянными приборами; при работе с электрическими приборами.

3. В кабинете физики должна быть аптечка, снабженная необходимыми лекарствами и бинтами, необходимыми для оказания первой помощи пострадавшим.

4. Учебные приборы должны иметь двойную или усиленную изоляцию (II класс или III класс, напрямую подключенные к источникам питания с напряжением, не превышающим 42 В).

5. Использование ртути для лабораторных работ и экспериментов запрещено [2].

2.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕНДОВОГО МАКЕТА ПО ТЕМЕ

«ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК»

2.2.1. ОПИСАНИЕ МАКЕТА

Данный макет может применяться как на факультативных занятиях, так и на уроках физики. Данный макет (рис. 2) состоит из входной части и исследуемой схемы. Входная часть состоит из тумблера, вольтметра и амперметра. На нее подается сигнал от генератора ГЗ109 величиной 10 В и частотой 1 кГц.

Амперметр и вольтметр показывают общий ток и общее напряжение на входе исследуемой цепи.

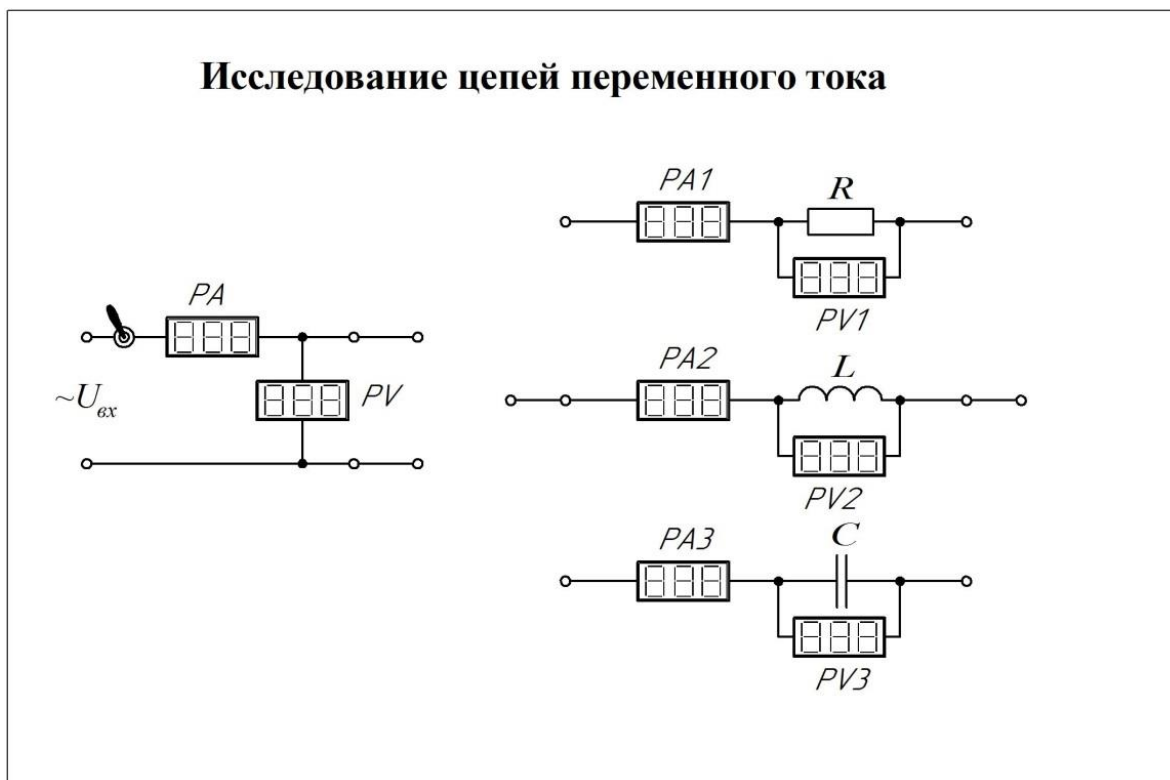


Рис. 2. Схема макета

Вторая часть макета непосредственно состоит из схемы, где ток измеряется через резистор, катушку и конденсатор. И так же измеряется напряжение на этих пассивных элементах.

Макет может применяться для установления условий возникновения резонанса токов. При этом мы параллельно соединяем нашу схему. К макету подсоединяется генератор переменного сигнала Г3109. Получается цепь переменного тока, которая позволяет нам исследовать резонанс токов.

При последовательном соединении цепи мы сможем исследовать резонанс напряжений. Макет прост в использование и очень функционален.

2.2.2. НОМЕНКЛАТУРА И ОПИСАНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Амперметр светодиодный DC 0-10А	4 шт.
Вольтметр светодиодный DC 3,3 В -17	4 шт.
Резистор 1.05 КОм, 5%	1 шт.
Конденсатор металлоплёночный 2200PF 400 V	1 шт.
Катушка индуктивности	1 шт.
Полюсной зажим SCI R1-01В	14 шт.
Тумблер двухполюсный Rexant (250В 6А (6с))	1 шт.
Провод ПВ-3	2 метра
Лист полистирола	1 шт.

2.2.3. ПОРЯДОК СБОРКИ МАКЕТА

Порядок сборки макета состоял из нескольких этапов:

1. Продумывание, составление схемы и функциональности макета.
2. Замер листа полистирола для дальнейшей установки деталей (рис. 3).

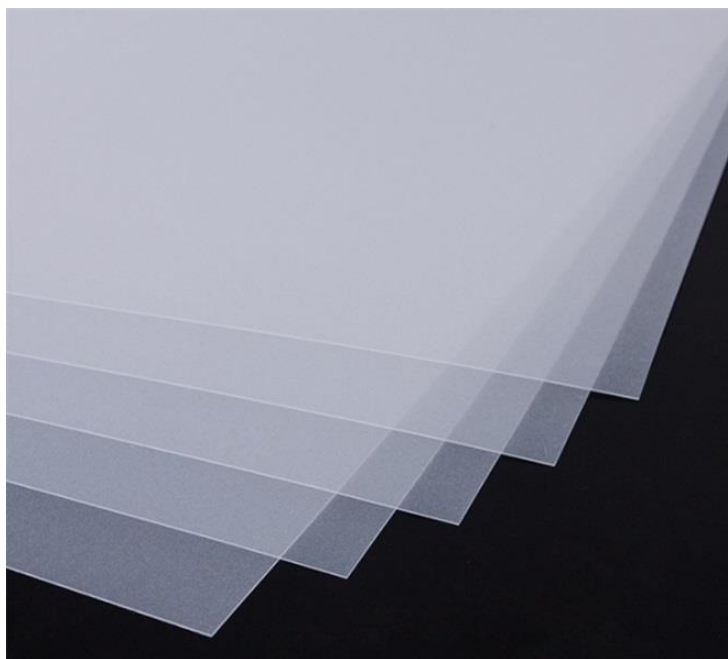


Рис. 3. Лист полистирола

3. Выпиливание лобзиком ниш под амперметры и высверливание отверстий для установки полюсных зажимов и вольтметров.

4. Установка деталей на макет (рис. 4).

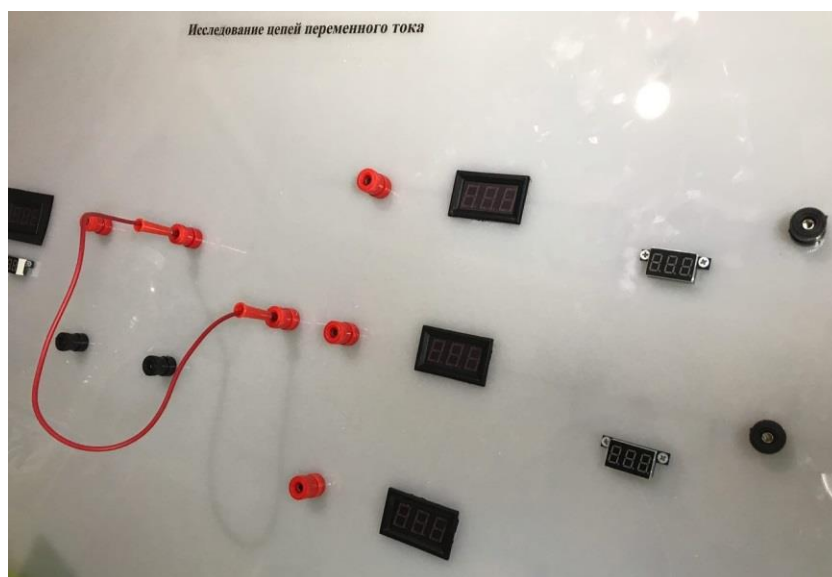


Рис. 4. Установка деталей

5. Подключение схемы, припаивание элементов (рис. 5).

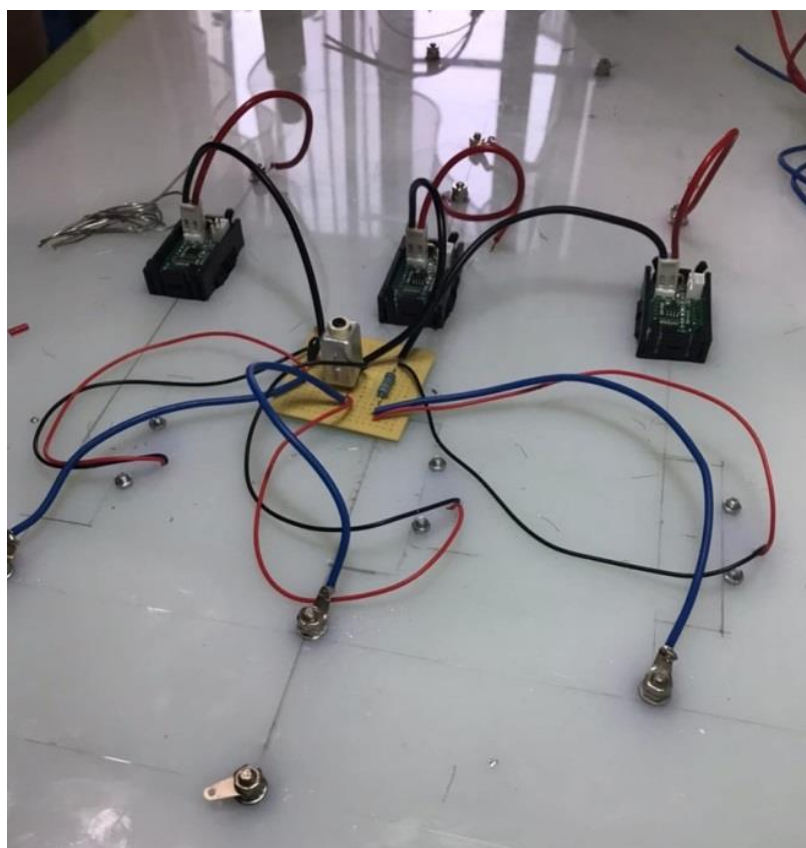


Рис. 5. Подключение схемы

6. Проверка подключения, обозначение элементов на схеме (рис. 6).

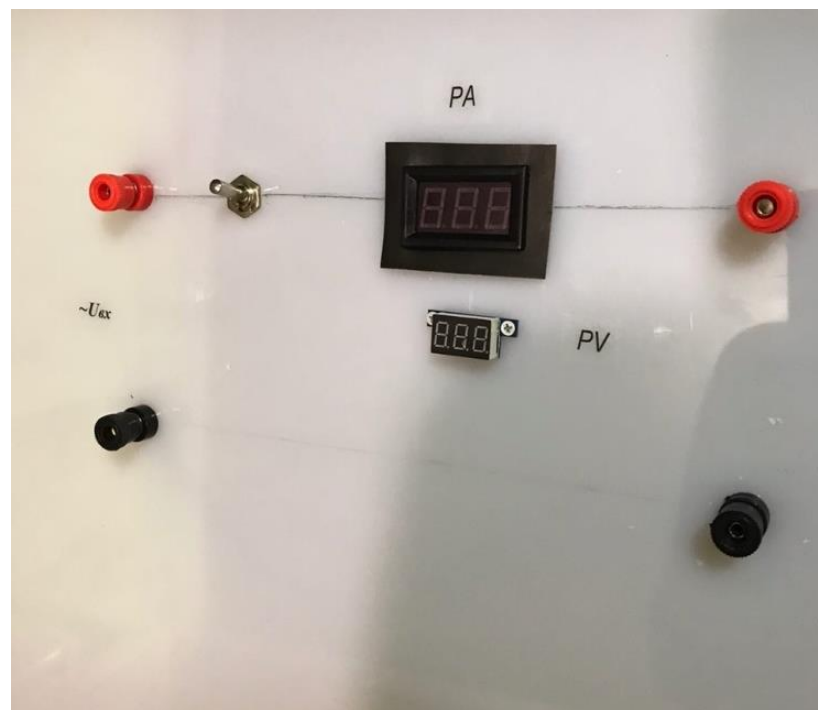


Рис. 6. Элементы схемы

7. Готовый макет по теме «Переменный ток»

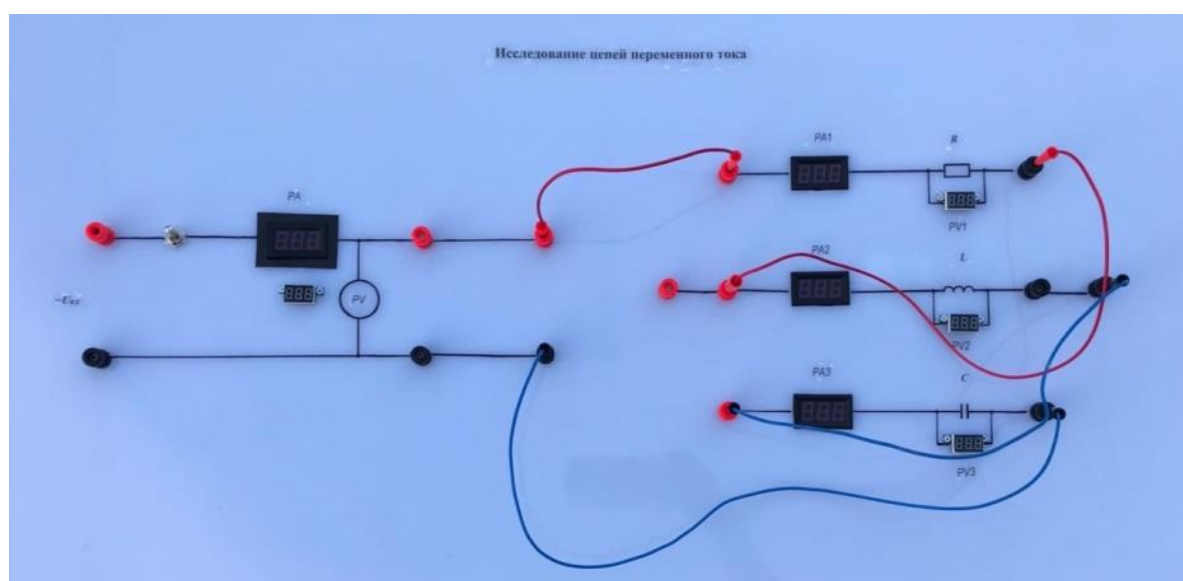


Рис. 7. Макет

2.3. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ТЕМЕ «ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК»

В пункте 2.3. представлен лабораторный практикум на тему «Исследование цепей переменного тока», который можно провести используя разработанный макет.

2.3.1. МЕТОД АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА

С учениками на факультативе мы выполняем лабораторную работу по исследованию цепи переменного тока.

Цель работы: изучить принцип действия электроизмерительных приборов; измерить сопротивление методом амперметра и вольтметра на постоянном и переменном токе.

Приборы и принадлежности: источник переменного тока, лабораторный автотрансформатор ЛАТР, источник постоянного тока, магазин сопротивлений, реостат, ключ, миллиамперметр, вольтметр.

Краткая теория

Метод вольтметра и амперметра основан на применении закона Ома для участка электрической цепи, который содержит измеряемое сопротивление:

$$R_x = \frac{U}{I},$$

где U – напряжение, приложенное к измеряемому сопротивлению;

I – ток в цепи измеряемого сопротивления.

Для повышения точности измерения тока и напряжения в электрической цепи используется многопредельный амперметр и вольтметр.

Для снижения мощности, потребляемой амперметром и вольтметром, целесообразно использовать амперметр с малым сопротивлением, а вольтметр с большим сопротивлением.

Схема (рис. 8а) используется в тех случаях, когда измеряемое сопротивление значительно больше сопротивления амперметра, последовательно

с которым оно включено. При этом пренебрегают падением напряжения на сопротивлении амперметра, считая, что подводимое напряжение полностью приложено к измеряемому сопротивлению. При точном определении измеряемого сопротивления с учетом ошибки, вносимой амперметром, его значение рассчитывается по формуле:

$$R_x = \frac{U - R_a I}{I},$$

где R_a – сопротивление амперметра.

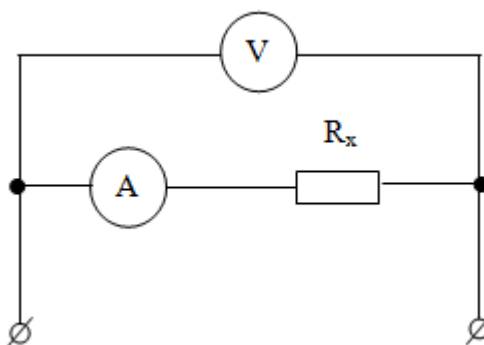


Рис. 8а. Схема для измерения сопротивлений методом амперметра и вольтметра

При измерении малых сопротивлений, когда сопротивление амперметра соизмеримо с измеряемым сопротивлением, для определения его значения следует использовать схему (рис. 8б), которая позволяет исключить влияние сопротивления амперметра на точность измерения сопротивления R_x .

Однако эта схема не учитывает влияния сопротивления вольтметра R_B на ток в цепи амперметра. Для точного определения сопротивления с учетом погрешности, вносимой вольтметром, его значение рассчитывается по формуле:

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_B}}.$$

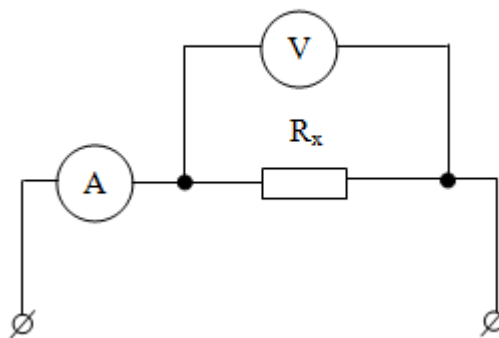


Рис. 86. Схема для измерения сопротивлений методом амперметра и вольтметра

Если использовать переменный ток, то методом амперметра и вольтметра можно измерять полное сопротивление цепи $Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X^2}$, реактивное сопротивление X , емкость конденсатора C и индуктивность L . Например, для измерения емкости конденсатора необходимо измерить ток I и напряжение на конденсаторе U_C . Тогда емкостное сопротивление $X_C = U_C/I = 1/\omega C$, откуда легко определяется емкость конденсатора $C = I/\omega U_C = I/2\pi f U_C$, где f – частота переменного тока.

Аналогично можно определить индуктивное сопротивление $X_L = U_L/I = \omega L = 2\pi f L$ и вычислить индуктивность $L = U_L/2\pi f I$. Однако этим методом определять индуктивность целесообразно только в том случае, когда индуктивное сопротивление много больше активного сопротивления потерь $\omega L \gg R_L$ (например, R_L может быть равно сопротивлению обмотки катушки постоянному току).

Недостатком измерения сопротивления методом амперметра и вольтметра является необходимость использования двух приборов и последующих вычислений для получения результата. Ограничена также точность метода амперметра и вольтметра, которая определяется классом точности γ используемых приборов, а относительная ошибка измерения сопротивления, соответственно, всегда больше 2γ .

Приборы для измерения сопротивлений постоянному току называют омметрами. Существуют особенности при измерении очень малых и очень больших сопротивлений.

Если измеряемое сопротивление мало (меньше одного Ома), то сопротивление соединительных проводов и сопротивление контактов в местах соединения проводов с измеряемым сопротивлением могут быть сравнимы со значением измеряемого сопротивления. Для измерения малых сопротивлений используются специальные приборы микро и миллиомметры.

При измерении очень больших сопротивлений (например, сопротивление изоляции материала) необходимо учитывать проводимость изоляции между подводящими проводами, которая шунтирует измеряемое сопротивление и может оказаться сравнимой с проводимостью измеряемого сопротивления. Возникают сложности и при измерении в этом случае малых токов. Для измерения больших сопротивлений используют мегомметры (предел измерения от 10^5 до 10^9 Ом) и тераомметры (предел измерения от 10^9 до 10^{14} Ом).

Задания и методические рекомендации

1. Изучить принцип действия электроизмерительных приборов.
2. Определить пределы измерения и цену деления для используемых электроизмерительных приборов.
3. Измерить сопротивление реостата методом амперметра и вольтметра. Для этого собирается электрическая цепь по схеме рис. 8а. Выбрать предел измерения приборов так, чтобы стрелка прибора находилась во второй половине шкалы. Произвести измерение силы тока и напряжения при максимальном значении сопротивления реостата и сопротивлений в 2–3 раза меньше максимального значения.
4. Провести расчеты измеряемого сопротивления реостата по формулам, предварительно определив сопротивление амперметра R_a .
5. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 8 б. Произвести измерение силы тока и напряжения.

6. Провести расчеты измеряемого сопротивления реостата по формулам, предварительно определив сопротивление вольтметра R_v .

7. Провести сравнительную оценку результатов измерений сопротивления реостата. Рассчитать погрешности измерений [16].

2.3.2. РЕЗОНАНС ТОКОВ

Цель работы: исследование режимов работы электрической цепи при параллельном соединении потребителей с активно-реактивными сопротивлениями. Определение параметров цепи. Установление условий возникновения резонанса токов.

Приборы и принадлежности: лабораторный автотрансформатор, комплект К-50, вольтметр, реостат, катушки индуктивности, конденсатор, соединительные провода.

Задания и методические рекомендации

1. Собрать электрическую цепь, приведенную на рис. 9. Установить предельные значения для электроизмерительных приборов на измерительном комплексе К-50 и рассчитать цену деления. Для измерения общего тока в цепи используется амперметр РА1. Для измерения тока в каждой ветви цепи (R , L , C) используется амперметр в комплекте К-50. Для измерения соответствующего тока переключатель фаз (A , B , C) устанавливается поочередно в положение A , B , C и, соответственно, определяются токи I_R , I_L , I_C . Напряжение измеряется вольтметром.

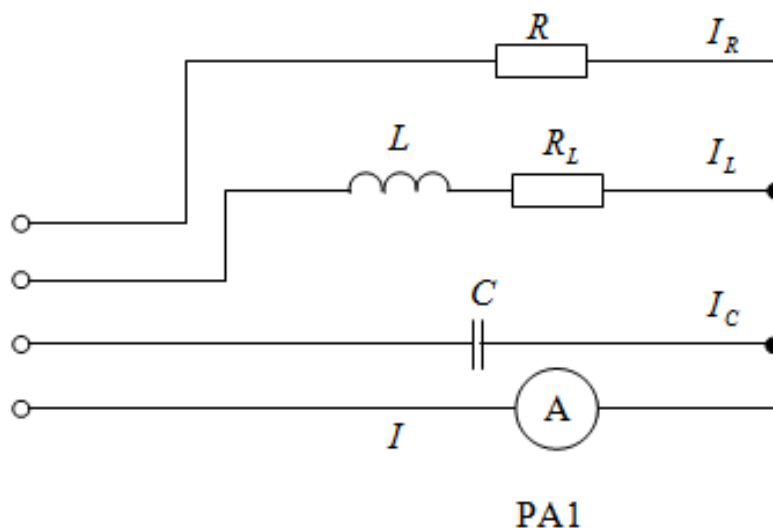


Рис. 9. Электрическая цепь

2. Провести исследование параллельной RC-цепи. Для этого отключить катушку индуктивности L (клемма В). При заданных значениях R , C и напряжении U рассчитать: $G = 1/R$, $B_C = \omega C$, Y , Z , $I = UY$, $\cos\varphi = G/Y$.

3. Измерить токи I_R , I_C , I , U . Вычислить полное сопротивление $Z = U/I$ и проводимости $Y_{RC} = Y = I/U$ и $Y_C = I_C/U$, $G = I_R/U$, а также $\cos\varphi = I_R/I$.

4. Провести исследование параллельной LC-цепи. Для этого отключить резистор R (клемма А) и подключить катушку индуктивности (клемма В). Определить значение емкости конденсатора C , чтобы на частоте $f = 50$ Гц был резонанс токов. Параметры катушки индуктивности L и R_L заданы. Установить на магазине емкостей значение емкости конденсатора, равное рассчитанному значению. Рассчитать проводимости B_C , Y_L , Y и модуль полного сопротивления Z , Z_L , а также $\cos\varphi$ аналогично пункту 2.

5. Измерить токи I_L , I_C , I и напряжение U . Определить по результатам измерений Z , Z_L , Y аналогично пункту 3. и $\cos\varphi$ из выражения $I^2 = I_C^2 + I_L^2 + 2 \cdot I_C \cdot I_L \cdot \cos\varphi$.

6. Провести исследование параллельной RLC-цепи. Значения R , L , C , R_L можно использовать аналогично пунктам 2 и 3. Рассчитать проводимости G , B_C , Y_L , Y , а также модуль полного сопротивления Z и $\cos\varphi$ аналогично пунктам 2 и 4.

7. Измерить токи I_R , I_L , I_C , I и напряжение U . Вычислить по результатам измерений: G , B_C , Y_L , Y , Z , $\cos\varphi$ аналогично пунктам 3 и 5.

8. Для каждого случая построить векторные диаграммы токов и напряжений, а также треугольник проводимостей [16].

2.3.3. РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

Цель работы: исследование электрической цепи при последовательном соединении потребителей с активно-реактивными сопротивлениями. Определение параметров цепи. Установление условий возникновения резонанса напряжения.

Приборы и принадлежности: лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), комплект К-50, вольтметр, реостат, катушки индуктивности, конденсатор (магазин емкостей), соединительные провода.

Задания и методические рекомендации

1. Установить предельные значения для электроизмерительных приборов на комплекте К-50 и рассчитать цену деления.
2. Собрать цепь согласно рис. 10.
3. По заданным значениям L и $f = 50$ Гц рассчитать емкость конденсатора, чтобы в последовательной цепи наблюдался резонанс напряжения.

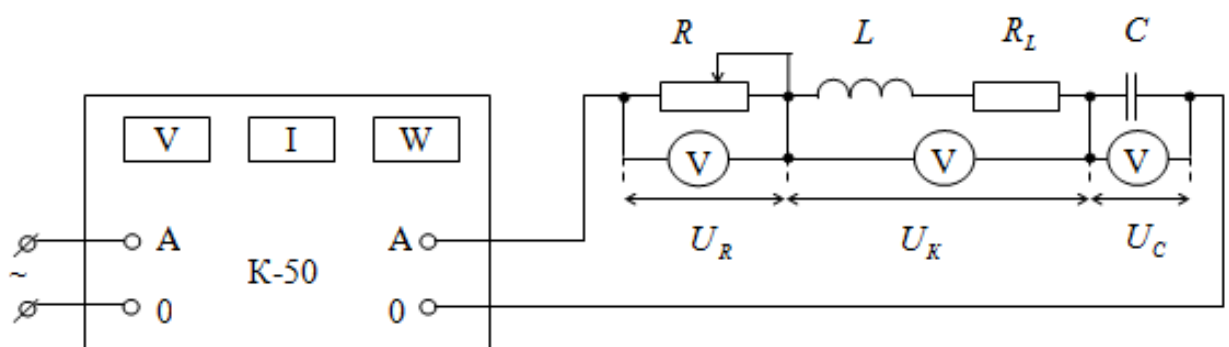


Рис. 10. Электрическая цепь с последовательно соединенными R , L и C

4. Рассчитать цену деления шкалы вольтметра (для трех пределов 75 В, 150 В и 300 В), который используется для измерения напряжения на участках цепи U_R , U_L , U_C . При работе с вольтметром соблюдать технику безопасности.

5. Установить напряжение на входе последовательной цепи по заданию преподавателя. Это напряжение можно не изменять при изменении параметров электрической цепи.

6. Установить сопротивление реостата равным нулю, а емкость конденсатора установить на магазине емкостей равной рассчитанному значению согласно пункту 3. Измерить ток в цепи I и напряжения U , U_L и U_C . Пределы измерения приборов должны быть такими, чтобы стрелка прибора находилась в правой части шкалы (перед измерением пределы измерений приборов должны соответствовать максимальным значениям).

7. Установить максимальное сопротивление реостата (100 – 200 Ом) и провести измерение тока и напряжений согласно пункту 6.

8. Изменить емкость конденсатора и провести измерение тока и напряжений согласно пункту 6.

9. Рассчитать для каждого случая сопротивления:

$$X_L = \omega L, X_C = \frac{1}{\omega C}, Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}, Z = \sqrt{(R + R_L)^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}, \quad \text{а также}$$

$$\text{фазовый сдвиг } \cos \varphi = \frac{R + R_L}{Z} \text{ и ток в цепи при данном напряжении } I = \frac{U}{Z}.$$

10. Согласно измеренным значениям тока и напряжений провести расчеты сопротивлений: $R = \frac{U_R}{I}$, $X_C = \frac{U_C}{I}$, $Z_L = \frac{U_L}{I}$, $Z = \frac{U}{I}$ и фазовый сдвиг

$$\cos \varphi = \frac{U_R + IR_L}{U} \quad [16].$$

2.3.4. МОЩНОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: исследовать методику измерения мощности в цепях однофазного переменного тока с различными типами нагрузки.

Приборы и принадлежности: лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), амперметр, вольтметр, ваттметр, реостат, катушки индуктивности, конденсатор (магазин емкостей), соединительные провода.

Задания и методические рекомендации

1. Для измерения мощности собирается электрическая цепь, приведенная на рис. 11. Параллельно вольтметру поочередно подключаются различные нагрузки (R , C , L , RC , LC). Активная мощность P измеряется ваттметром, а полная S измеряется с помощью вольтметра и амперметра $S = UI$.

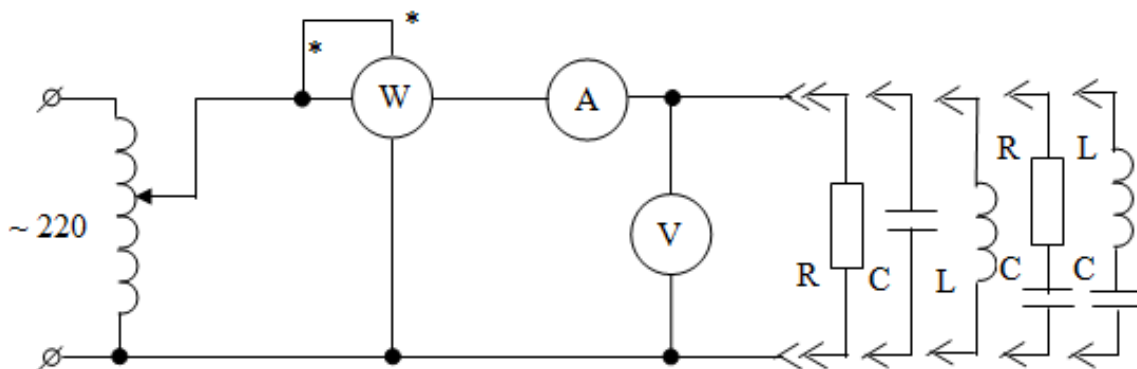


Рис. 11. Электрическая схема для измерения мощности

2. Определить пределы измерений и цену деления используемых приборов.

3. Собрать электрическую цепь с активным сопротивлением R . Измерить силу тока I , напряжение U и мощность P . Рассчитать сопротивление активной нагрузки (реостата) $R = U/I$, полную мощность $S = IU$ и реактивную мощность $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$. Определить коэффициент мощности $\cos\varphi = P/S$. Вычислить активную мощность $P = I^2R$ и коэффициент мощности $\cos\varphi = R/Z$, где $Z = U/I$.

4. Параллельно вольтметру подключить емкостную нагрузку C (активное сопротивление отключить из цепи). Измерить силу тока I , напряжение U и активную мощность P . Рассчитать емкостное сопротивление $X_C = U/I$ и емкость конденсатора C , а также полную мощность S и реактивную мощность Q , $\cos\varphi = P/S$, $R = P/I^2$. Определить по формулам $\tan\varphi = R/X_C$, $Q = I^2X_C$.

5. Исследование последовательной RC -цепи. Для этого параллельно вольтметру подключить RC -цепь. Значение R и C можно использовать из пунктов 2 и 3. Измерить силу тока I , напряжение U и активную мощность P и определить

$S, Z, \cos\varphi = P/S, Q = \sqrt{S^2 - P^2}$. Вычислить $\cos\varphi = R/Z, P = I^2R, S = I^2Z, Q = I^2X_C$, где $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$.

6. Исследование цепи с индуктивной нагрузкой L . В этом случае параллельно вольтметру подключается катушка индуктивности, предварительно измерить ее омическое (активное) сопротивление R_L с помощью омметра. Измерить силу тока I , напряжение U и активную мощность P и определить $S, Z, \cos\varphi = P/IU, Q = \sqrt{S^2 - P^2}, R_L = P/I^2$. Вычислить индуктивность катушки $L = \frac{\sqrt{Z^2 - R_L^2}}{314}$, полное сопротивление $Z = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$, индуктивное сопротивление $X_L = \omega L$, полную мощность $S = I^2Z$, реактивную мощность $Q = I^2X_L$, активную мощность $P = I^2R_L$ и коэффициент мощности $\cos\varphi = R/Z$.

7. Исследование последовательной LC-цепи. Параметры катушки индуктивности и конденсатора можно взять из пунктов 3 и 5. Измерить силу тока I , напряжение U и активную мощность P и определить $S = IU, Z = U/I, Q = \sqrt{S^2 - P^2}, \cos = P/S$. Теоретически рассчитать: $Z = \sqrt{R_L^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}, S = I^2Z, P = I^2R_L, Q = I^2X, \cos\varphi = R_L/Z, Q_L = I^2X_L, Q_C = I^2X_C, Q = Q_L - Q_C$.

8. По полученным данным построить треугольник мощности в произвольно выбранном масштабе для всех нагрузок.

9. Сравнить результаты расчета и измерений и сделать вывод [16].

2.4. ФАКУЛЬТАТИВ ПО ФИЗИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕНДОВОГО МАКЕТА

Тема факультативного занятия: Переменный ток на реальном участке цепи. Электрический резонанс.

Тип занятия: совершенствования знаний, формирования практических умений.

Демонстрации: явление электрического резонанса.

Организационная форма проведения факультатива: фронтальная, индивидуальная, групповая.

Цели:

1. ввести понятие о реальном участке цепи;
2. изучить основные особенности переменного электрического тока в цепи, состоящей из последовательно соединённых резистора, конденсатора и катушки индуктивности;
3. раскрыть физическую сущность процессов, происходящих при электрическом резонансе, и изучить средства его описания;
4. расширить политехнический кругозор учащихся сведениями о прикладном значении электрического резонанса.

Задачи:

образовательная: раскрыть физическую сущность процессов, происходящих при резонансе напряжений, и научить учащихся применять основные закономерности электрического резонанса при решении физических задач;

воспитательная: формирование познавательного интереса к физике; воспитание толерантного отношения друг к другу;

развивающая: развитие навыков логического мышления; обоснования своих высказываний; развитие политехнических знаний и умений, элементов творчества, умения пользоваться языком физики и применять знания в новой обстановке.

1. Организационный момент

Приветствие учителя. Подготовка класса к занятию. Инструктаж по технике безопасности.

2. Актуализация знаний

Фронтальный опрос:

1. Что называют электромагнитными колебаниями?
2. Какие электромагнитные колебания называют вынужденными?
3. Дайте определение переменного электрического тока.

4. Что представляет собой цепь переменного тока с активным сопротивлением?

5. Назовите основные особенности переменного электрического тока на участке цепи с активным сопротивлением.

6. Дайте определение действующего значения силы переменного тока.

7. Что представляет собой цепь переменного тока с емкостным сопротивлением?

8. По каким законам меняются мгновенные значения напряжения и силы тока в такой цепи и чему равен сдвиг фаз между ними?

9. От каких величин зависит реактивное емкостное сопротивление?

10. Как записывается закон Ома для амплитудных и действующих значений силы тока и напряжения?

11. Что представляет собой цепь переменного тока с индуктивным сопротивлением?

12. Назовите основные особенности переменного электрического тока на участке цепи с емкостным сопротивлением.

3. Изучение нового материала

Рассматриваемые вопросы:

1. Закон Ома для электрической цепи переменного тока.

2. Резонанс в цепи переменного тока.

3. Применение и учёт резонанса в технике.

В действительности участок цепи, по которому протекает переменный электрический ток, обладает свойствами активного, емкостного и индуктивного сопротивлений, правда, в разной степени. В каких-то случаях тем или иным сопротивлением можно пренебречь – в зависимости от решаемой задачи.

Рассмотрим процессы, происходящие на реальном участке цепи, представляющем собой последовательное соединение резистора, конденсатора и катушки индуктивности (рис. 12).

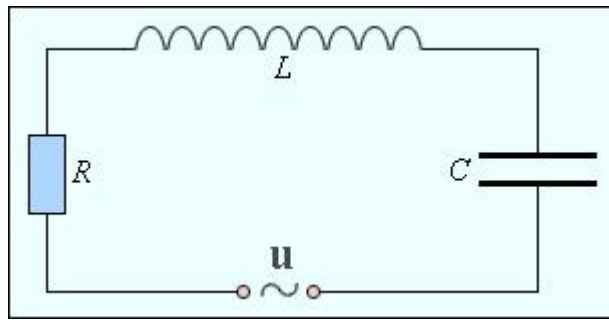


Рис. 12. Схема

Отношения между физическими величинами для такого участка значительно сложнее, поэтому обратимся к главным результатам.

Опишем прохождение переменного электрического тока на таком участке цепи.

Напряжение, подаваемое внешним генератором, в любой момент времени равно сумме падений напряжений на различных участках цепи:

$$u = u_R + u_L + u_C.$$

Пусть напряжение в цепи изменяется по гармоническому закону:

$$u = U_{max} \cdot \cos \omega t.$$

Так как напряжение на каждом участке своё, то на разных участках цепи между колебаниями силы тока и напряжения имеется свой сдвиг фаз. Поэтому сила тока в цепи будет изменяться по закону:

$$i = I_{max} \cdot \cos(\omega t - \varphi_C).$$

Амплитуда приложенного напряжения определяется на векторной диаграмме как геометрическая сумма амплитуд падений напряжений на активном сопротивлении, катушке индуктивности и конденсаторе.

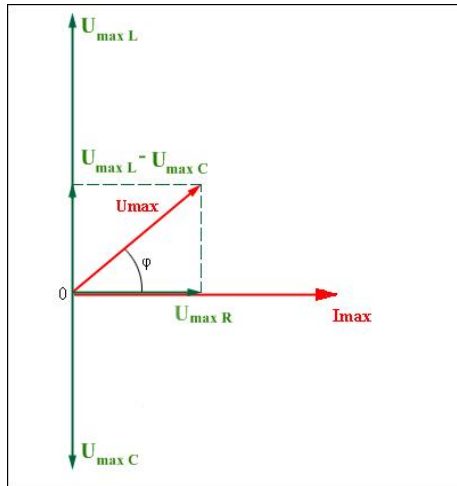


Рис. 13. Векторная диаграмма напряжений

Из прямоугольного треугольника на чертеже (рис. 13) имеем:

$$U_{max}^2 = U_{max R}^2 + (U_{max L} - U_{max C})^2,$$

$$U_{max}^2 = (R \cdot I_{max})^2 + \left(\left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega C} \right) \cdot I_{max} \right)^2.$$

Тогда:

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{\sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}.$$

Полное электрическое сопротивление цепи переменного тока:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}.$$

Величина

$$x = x_L - x_C = \omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}$$

называется реактивным сопротивлением или реактансом.

Закон Ома для цепи переменного тока запишется в виде:

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{Z}$$

Формулировка закона Ома для цепи переменного тока: амплитуда силы переменного тока прямо пропорциональна амплитуде напряжения и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи.

Закон Ома для действующих значений силы тока и напряжения:

$$I_{эфф} = \frac{U_{эфф}}{Z}.$$

Сдвиг фаз между колебаниями силы тока и напряжения можно определить из векторной диаграммы:

$$\cos \varphi = \frac{R \cdot I_{max}}{U_{max}} = \frac{R}{Z}.$$

На реальном участке цепи происходят новые физические явления. Одно из важных – электрический резонанс.

Явление электрического резонанса впервые было описано выдающимся английским физиком Джеймсом Клерком Максвеллом в 1868 году.

Следует назвать условие, при котором наступает электрический резонанс: сила тока максимальна при минимальном значении полного сопротивления цепи, т.е. когда:

$$x_L = x_C.$$

При этом:

1. цепь обладает только активным сопротивлением;
2. $(U_L)_{рез} = (U_C)_{рез}$ (по модулю), но противоположны по фазе.

Выводы:

Следует, что электрический резонанс происходит, когда частота вынуждающего напряжения равна собственной частоте электрической цепи:

$$\omega_{рез} \cdot L = \frac{1}{\omega_{рез} \cdot C},$$

$$\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}},$$

$$\omega_{рез} = \omega_0.$$

Амплитуда установившихся колебаний силы тока при резонансе определяется:

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{R}.$$

При электрическом резонансе цепь фактически обладает только активным сопротивлением, т.е. нет сдвига фаз между силой тока и напряжением, хотя до и после резонанса этот сдвиг фаз есть.

Проанализируем последнюю формулу:

1. при $R \rightarrow 0$, $(I_{max})_{рез} \rightarrow \infty$, при этом чем меньше активное сопротивление R , тем более острый максимум имеет резонансная кривая;
2. при $R \rightarrow \infty$ говорить о резонансе не имеет смысла.

Таким образом: резонанс в электрической цепи переменного тока – явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний силы тока в колебательном контуре при совпадении частоты внешнего переменного напряжения с частотой свободных незатухающих колебаний в контуре (рис. 14).

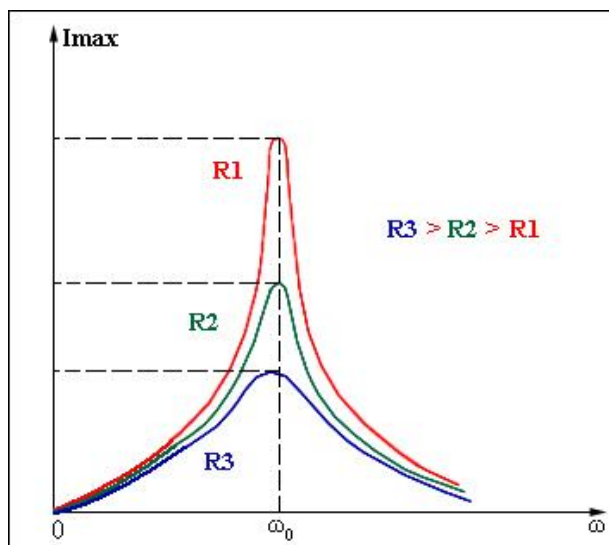


Рис. 14. Резонанс

Давайте посмотрим, каким образом на практике можно получить явление резонанса напряжений в электрической цепи переменного тока при последовательном соединении её элементов [11,12].

4. Демонстрационный эксперимент

На вход реального колебательного контура подаём с функционального генератора переменное напряжение, частоту которого можно менять. К выходу колебательного контура подключаем осциллограф, преобразующий электрический сигнал в видимое изображение. Как будет реагировать колебательный контур на изменение частоты вынуждающего сигнала?

Изменяем частоту входного сигнала в сторону увеличения. Наблюдаем: увеличение амплитуды колебаний выходного сигнала на экране осциллографа.

При дальнейшем увеличении частоты входного сигнала наблюдается уменьшение амплитуды выходного сигнала. Момент, когда амплитуда колебаний выходного сигнала была максимальной, соответствует явлению электрического резонанса напряжений.

Изучим на практике, как реагирует колебательный контур на изменение ёмкости конденсатора и индуктивности катушки, т.е. как изменяется резонансная частота (рис. 15).

Увеличим ёмкость конденсатора. Наблюдаем: резонансная частота уменьшилась.

Увеличим индуктивность катушки. Наблюдаем: резонансная частота уменьшилась.

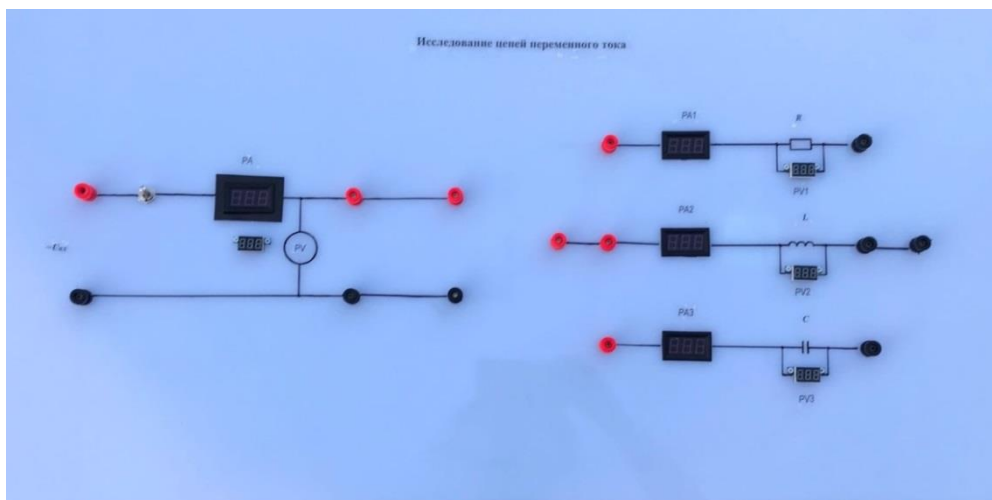


Рис. 15. Демонстрационный стенд для исследования явление электрического резонанса

Подтвердим на практике, что: $(U_L)_{\text{рез}} = (U_C)_{\text{рез}}$.

Для этого достаточно сравнить амплитуды выходного сигнала, снимаемого с конденсатора и катушки индуктивности.

Явление электрического резонанса широко используется при осуществлении радиосвязи в схемах настройки радиоприёмников (для выделения сигнала требуемой частоты), усилителей, генераторов высокочастотных колебаний. На явлении резонанса основана работа многих измерительных приборов. Например, резонансный волномер используется для измерения частоты и является основной частью генераторов стандартных сигналов.

Нужно помнить, что явление электрического резонанса необходимо учитывать при расчёте изоляции электрических цепей.

Вредное влияние резонанса проявляется в тех случаях, когда в цепи, не рассчитанной на работу в условиях резонанса, возникают чрезмерно большие токи или напряжения.

Резкие возрастания тока могут привести к нарушению изоляции витков катушки индуктивности, а большие напряжения – к пробоем конденсаторов.

5. Закрепление изученного материала

Вопросы для закрепления:

1. Что было изучено сегодня?
2. Как бы Вы сформулировали тему?
3. Какие новые понятия были введены?
4. Что представляет собой реальный участок цепи?
5. Какие новые формулы и законы изучили?
6. С каким новым физическим явлением Вы познакомились?
7. Дайте определение электрического резонанса.

6. Подведение итогов

С чего мы начали?

1. Повторили ранее изученный материал.
2. Выделили основные теоретические положения новой темы.
3. Подтвердили эти положения демонстрационным экспериментом.
4. Нашли практическое применение явления электрического резонанса.
5. Систематизировали и закрепили полученные знания.

Рефлексия:

1. Что интересного запомнилось?
2. Что оказалось для Вас полезным?
3. Что представляло наибольшую трудность?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы была изучена и проанализирована литература по современным стендовым макетам по электронике и возможностей использования их на факультативных занятиях по физике. Также были рассмотрены особенности проведения факультативных занятий с использованием стендовых макетов. Разработан макет по теме «Исследование цепей переменного тока», который позволяет исследовать резонанс токов и резонанс напряжений. Так же разработаны методические рекомендации по его использованию, оформленные в виде лабораторных практикумов и конспекта факультативного занятия. Поставленные цель и задачи полностью достигнуты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Образование и XXI век: Информационные и коммуникационные технологии. – М.: Наука, 1999. –191 с.
2. Виды инструктажа по технике безопасности. В соответствии с ГОСТом 12.0.0004-90 «Организация обучения безопасности труда». 2010. – 42 с.
3. Перышкин, А.В. Физика. 8 класс: Учебник для общеобразовательных учреждений / А.В. Перышкин. – М.: Дрофа, 2010. – 196 с.
4. Куперштейн, Ю.С. Опорные конспекты и дифференцированные задачи. Физика. 7-8 класс / Ю.С. Куперштейн. – СПб.: Изд. дом «Сентябрь», 2002. – 80 с.
5. Ожегов, С.И., Шведова, Н.Ю. Толковый словарь русского языка: 80 000 слов и фразеологических выражений. – 4-е изд. – М.: Высшая школа, 1993. – 944 с.
6. Виноградов, А.А. Микропроцессоры и микропроцессорные устройства: учебное пособие для студентов энергетических специальностей. – Электрон. текстовые данные. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2012. – 67 с.
7. Солонина, А.И., Улахович, Д.А., Арбузов, С.М., Соловьева, Е.Б. Основы цифровой обработки сигналов: курс лекций. – СПб.: БХВ-Петербург, – 2005. – 766 с.
8. Грачев, Н.П., Зубкова, В.А., Синицын, Е.А., Чепель, Е.В. Шумы квантования алгоритмов быстрого преобразования Фурье при обработке радиолокационных сигналов: статья в журнале / Вопросы радиоэлектроники, 2010. – 23 с.
9. Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. ГОСТ Р 524252005. Часть 23. Статистические счетчики реактивной энергии. – М.: РГГУ, 2006. – 672 с.
10. Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия. ГОСТ Р 52565-2006. – М.: Энергия, 2014. – 164 с.

11. Алиев, И. И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев. – 4-е изд., испр. – М.: РадиоСофт, 2006. – 383 с.
12. Андре Анго. Математика для электро- и радиоинженеров. – М.: Наука, 1967. – 780с.
13. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. Авт. Буров В.А. и др. Пособие для учителя. Электричество. Оптика. Физика атома. – М.: Просвещение, 1968. – 427 с.
14. Проблемы современной физики. А. Ф. Иоффе. Наука. Ленинградское отделение. 1980. – 590 с.
15. Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. В.А. Сластенин, И.Ф. Исаев, Е.Н. Шиянов; Под ред. В.А. Сластенин. – М.: Изд. центр "Академия", 2002. – 576 с.
16. Витвицкий, ВГ, Казаков, А.Ю., Федотов, В.И Линейные электрические цепи синусоидального тока / В.Г.Витвицкий, А.Ю.Казаков, В.И.Федотов. 2007. – 53 с.