

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
«РОСТОВСКИЙ-НА-ДОНУ КОЛЛЕДЖ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ,
ИНФОРМАЦИОННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»
(ГБПОУ РО «РКРИПТ»)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ПРАКТИЧЕСКИХ (ЛАБОРАТОРНЫХ) РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

ОП.02 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Специальность:

11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт
электронных приборов и устройств

Квалификация выпускника:

Специалист по электронным приборам и устройствам

Форма обучения: очная

Ростов-на-Дону
2023

СОГЛАСОВАНО

Начальник методического отдела


Н.В. Вострякова
«28» марта 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора

по учебно-методической работе

С.А. Будасова
«28» марта 2023 г.

ОДОБРЕНО

Цикловыми комиссиями радиоэлектроники
и технического обслуживания
радиоэлектронной техники

Пр. № 8 от «1» февраля 2023 г.

Председатель ЦК


В.Ю. Махно

Методические указания по выполнению практических (лабораторных) работ разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ОП.02 Электротехника для специальности 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств.

Разработчик(и):

Колесников Е.Э. – преподаватель первой квалификационной категории ГБПОУ РО «РКРИПТ»

Рецензенты:

Анисимова Н.Э. – преподаватель высшей квалификационной категории ГБПОУ РО «РКРИПТ»

Емельяненко С.А. – директор ООО «Техникон»

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	
Лабораторное занятие № 1 Измерение электротехнических величин электроизмерительными приборами	7
Отчет. Лабораторное занятие №1.	10
Лабораторное занятие № 2 Исследование работы электрической цепи в различных режимах	12
Отчет. Лабораторное занятие № 2	15
Лабораторное занятие №3 Исследование неразветвленной цепи с несколькими источниками	18
Отчет. Лабораторное занятие № 3.	21
Лабораторное занятие № 4 Экспериментальная проверка 1 и 2 законов Кирхгофа	24
Отчет. Лабораторное занятие № 4	28
Лабораторное занятие № 5 Экспериментальная проверка принципа наложения токов	30
Отчет. Лабораторное занятие № 5	33
Лабораторное занятие № 6 Исследование цепи переменного тока, состоящей из последовательно включенных катушек индуктивности и активного сопротивления	35
Отчет. Лабораторное занятие № 6	38
Лабораторное занятие № 7 Исследование цепи последовательного соединения конденсатора и активного сопротивления	40
Отчет. Лабораторное занятие № 7.	43
Лабораторное занятие № 8 Исследование параллельного соединения активных и реактивных элементов	45
Отчет. Лабораторное занятие № 8	48
Лабораторное занятие №9 Исследование электрической цепи с последовательным соединением RLC. Резонанс напряжений	51
Отчет. Лабораторное занятие № 9	53
Лабораторное занятие № 10 Исследование электрической цепи с параллельным соединением RLC. Резонанс токов	55
Отчет. Лабораторное занятие № 10	58
Лабораторное занятие № 11 Исследование цепи с последовательным соединением индуктивно связанных катушек.	60
Отчет. Лабораторное занятие № 11.	63
Лабораторное занятие № 12 Исследование трехфазной электрической цепи	66
Отчет. Лабораторное занятие № 12	70
Лабораторное занятие № 13 Исследование переходных процессов в простейших RC цепях . .	72
Отчет. Лабораторное занятие № 13.	77

Введение

Лабораторные и практические занятия по учебной дисциплине ОП.02 «Электротехника» составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки и направлены на подтверждение теоретических положений и формирование практических умений и практического опыта:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- анализировать и рассчитывать электрические цепи.

Лабораторные и практические занятия относятся к основным видам учебных занятий.

Выполнение студентами лабораторных и практических работ направлено:

- на обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплин;
- формирование умений применять полученные знания на практике;
- реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развитие интеллектуальных умений (аналитических, проектировочных, конструкторских и др.) у будущих специалистов;
- выработку при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных (решать задачи по математике, физике, химии, информатике и др.), необходимых в последующей учебной деятельности.

Содержанием лабораторных работ по дисциплине /профессиональному модулю являются экспериментальная проверка формул, методик расчета, установление и подтверждение закономерностей, ознакомление с методиками проведения экспериментов, установление свойств веществ, их качественных и количественных характеристик, наблюдение развития явлений, процессов и др. В ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с различными приборами, установками, лабораторным оборудованием, аппаратурой, которые могут составлять часть профессиональной практической подготовки, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследование, оформлять результаты).

Содержанием практических занятий по дисциплине /профессиональному

модулю являются решение разного рода задач, в том числе профессиональных (анализ производственных ситуаций, решение ситуационных производственных задач, выполнение профессиональных функций в деловых играх и т.п.), выполнение вычислений, расчетов, чертежей, работа с измерительными приборами, оборудованием, аппаратурой, работа с нормативными документами, инструктивными материалами, справочниками, составление проектной, плановой и другой технической и специальной документации и другое.

Содержание практических, лабораторных занятий охватывают весь круг профессиональных умений, на подготовку к которым ориентирована данная дисциплина/профессиональный модуль, которые в дальнейшем закрепляются и совершенствуются в процессе курсового проектирования, практикой по профилю специальности и преддипломной практикой.

Лабораторные занятия проводятся в специально оборудованных учебных лабораториях. Практическое занятие должно проводиться в учебных кабинетах или специально оборудованных помещениях (площадках). Продолжительность занятия – не менее 2-х академических часов. Необходимыми структурными элементами занятия, помимо самостоятельной деятельности студентов, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения работы.

Все студенты, связанные с работой в лаборатории, обязаны пройти инструктаж по безопасному выполнению работ, о чем расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности.

Выполнению лабораторных и практических работ предшествует проверка знаний студентов, их теоретической готовности к выполнению задания.

Лабораторные и практические работы студенты выполняют под руководством преподавателя. При проведении лабораторных и практических занятий учебная группа может делиться на подгруппы численностью не менее 8 человек. Объем заданий для лабораторных и практических занятий спланирован с расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть выполнены качественно большинством студентов.

Формы организации работы обучающихся на лабораторных работах и практических занятиях: фронтальная, групповая и индивидуальная.

При фронтальной форме организации занятий все студенты выполняют одновременно одну и ту же работу. При групповой форме организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2 - 5 человек. При индивидуальной форме организации занятий каждый студент выполняет индивидуальное задание.

Отчет по практической и лабораторной работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по практической, лабораторной работе. Защита отчета проходит в форме доклада обучающегося по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Оценки за выполнение лабораторных работ и практических занятий могут выставляться по пятибалльной системе или в форме зачета и учитываться как показатели текущей успеваемости студентов.

Критерии оценки лабораторных, практических работ.

Оценка «5» ставится, если учащийся выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений; самостоятельно и рационально монтирует необходимое оборудование; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; соблюдает требования правил безопасности труда; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ погрешностей.

Оценка «4» ставится, если выполнены требования к оценке «5», но было допущено два - три недочета, не более одной негрубой ошибки и одного недочёта.

Оценка «3» ставится, если работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, позволяет получить правильные результаты и выводы: если в ходе проведения опыта и измерений были допущены ошибки.

Оценка «2» ставится, если работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов: если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно.

Измерение электротехнических величин электроизмерительными приборами

1. Цель занятия

- 1.1. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности при работе в лаборатории электротехники.
- 1.2. Ознакомиться с порядком выполнения лабораторных работ.
- 1.3. Ознакомиться с устройством лабораторного стенда типа ЛЭС-5.
- 1.4. Приобрести навыки работы с имеющимися в лаборатории электроизмерительными приборами, а именно, навыки определения предела измерения, цены деления прибора, значения измеряемой величины.
- 1.5. Приобрести навыки оформления отчетов в соответствии с ЕСКД.

2. Содержание занятия

2.1. Ознакомление с инструкцией по технике безопасности

В лаборатории существует инструкция по технике безопасности, которую учащийся должен знать и выполнять. После ознакомления с инструкцией учащийся должен расписаться в журнале по технике безопасности, имеющемся в лаборатории. Обратит особое внимание на следующее:

- на лабораторном столе не разрешается держать шапки, сумки и другие посторонние вещи;
- запрещается включать схему, пока не проверит преподаватель;
- запрещается разбирать схему, пока не показали преподавателю данных измерений;
- учащийся должен сообщить преподавателю о любой обнаруженной неисправности стенда немедленно;
- Вносить изменения в схему, разбирать и собирать новую можно только с разрешения преподавателя и после отключения всех источников питания.

2.2. Ознакомление с порядком выполнения лабораторных работ

К лабораторным работам допускаются учащиеся, ознакомившиеся с инструкцией по технике безопасности и имеющие:

- правильно оформленный отчет по предыдущей работе, который сдается преподавателю на проверку перед уроком;
- заготовку отчета и теоретическую подготовку к текущей работе.

Если учащийся не готов к выполнению лабораторной работы, он получает оценку "2" на основную страницу, отсаживается за другой стол и оформляет все недостающее. Текущую лабораторную работу он должен выполнить во время дополнительных занятий. Если лабораторное занятие пропущено по болезни, лабораторная работа продлевается на дополнительном занятии.

Выполнение работы производится по бригадам. Группа разбивается на бригады 2-3 человека строго по журналу.

Работа считается законченной, если выполнено следующее:

- результаты работы в виде записей, таблиц, кривых и схем представлены преподавателю и утверждены им;
- отключенная схема с разрешения преподавателя полностью разобрана;
- рабочее место приведено в порядок.

2.3. Ознакомление с устройством лабораторного стенда типа ЛЭС-5.

Блок 1 – распределительный, к клеммной колодке этого блока подводится трехфазное напряжение 220/127 В. На панели этого блока расположен тумблер включения стенда. В каждую фазу включены предохранители, и каждая фаза имеет световую индикацию. На лицевой панели расположены выходные клеммы трех фаз АВС и нулевого провода 0.

- Блок 2 – питания. Состоит из трех источников постоянного напряжения: $E_1=5 \text{ В} \pm 10 \%$; $E_2= 5 \text{ В} \pm 10 \%$; $E_3= 20 \text{ В} \pm 10 \%$ и блок выпрямителя.
- Блок 3 – трехфазного трансформатора 220/127 В, имеющего три первичные – АХ, ВУ, СЗ и три вторичные – ах, ву, сз обмотки.
- Блок 4 – ламповых реостатов, представляет собой три группы ламп накаливания – АХ, ВУ, СЗ. В каждой группе по 5 ламп соединены параллельно. Цепь каждой лампы имеет выключатель (тумблер). Таким образом, имеется возможность изменять количество включенных ламп реостата, а, следовательно, и общее сопротивление.
- Блок 5 – конденсаторов, представляет собой набор конденсаторов с различными значениями емкости от 0.25 до 34.75 мкФ, а также конденсаторы с емкостью 10, 20 и 30 мкФ.
- Блок 6 – резисторов, представляет собой набор сопротивлений: $R_1 = 100 \text{ Ом} \pm 10 \%$; $R_2 = 35 \text{ Ом} \pm 10 \%$; $R_3 = 75 \text{ Ом} \pm 10 \%$; $R_4 = 37,5 \text{ Ом} \pm 10 \%$; $R_5 = 30 \text{ Ом} \pm 10 \%$; $R_6 = 1 \text{ мОм} \pm 10\%$; $R_7 = 2 \text{ мОм} \pm 10 \%$.

Помимо резисторов блок снабжен двумя тумблерами – В₁ и В₂.

Справа около стенда расположены два реостата по 15 Ом, имеющие объединенные ползунки.

На лабораторном столе располагается лабораторный автотрансформатор /ЛАТРа/.

В начале работы ручку ЛАТРа обязательно надо ставить в нулевое положение – крайнее левое. Постепенно поворачивая ручку ЛАТРа от нулевого положения вправо, имеем возможность плавно увеличивать напряжение от 0 до 220 В.

2.4. Ознакомление с электроизмерительными приборами

2.4.1. Токи и напряжения электрических цепей лабораторных работ определяются с помощью амперметров и вольтметров. Амперметр включается в цепь последовательно с помощью соответствующих клемм: вольтметр – параллельно участку, напряжение которого измеряется. Амперметры и вольтметры, используемые в лаборатории, являются стрелочными приборами. Для измерения электрической величины необходимо уметь определять цену деления прибора. Сначала следует обратить внимание на предел измерения, установленный на приборе с помощью соответствующего переключателя или клеммы. **Для определения цены деления необходимо предел измерения разделить на число делений шкалы.**

- Пример:

Предел измерения амперметра равен 2.5 А. Число делений шкалы равно 100.

Цена деления $C = 2.5 \text{ А} / 100 \text{ дел.} = 0.025 \text{ А/дел.}$

Записывать показания приборов не в делениях шкалы, а непосредственно в единицах измеряемой величины (амперах, вольтах), для чего число делений, на которое отклонилась стрелка, следует умножить на цену одного деления.

- Пример:

Если стрелка отклонилась на 60 делений, то прибор показывает: $0.025 * 60 = 1.5 \text{ А.}$

3. Отчет содержит следующие разделы:

3.1. Цель работы. В разделе указывается, в чем учащийся должен убедиться, чему научиться, какие навыки приобрести, выполняя лабораторную работу.

3.2. Используемые измерительные приборы и оборудование.

Раздел содержит таблицу приборов.

Наименование прибора	Тип прибора	Пределы измерения	Цена деления	Класс точности	Заводской номер

3.3. Электрическая схема исследуемой цепи, которая выполнена в соответствии с ЕСКД.

Изображение некоторых элементов по ЕСКД:

ГОСТ 2.730 - 73

ГОСТ 2.742 - 68

ГОСТ 2.721 - 74

ГОСТ 2.728 - 74

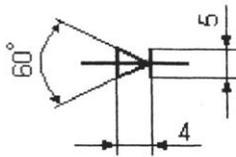
ГОСТ 2.747 - 68

ГОСТ 2.731 - 68

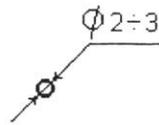
ГОСТ 2.725 - 68

ГОСТ 2.755 - 74

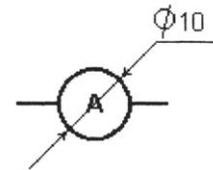
ГОСТ 2.710 - 75



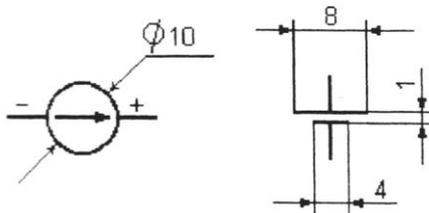
Диод



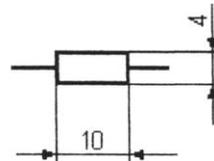
Клемма



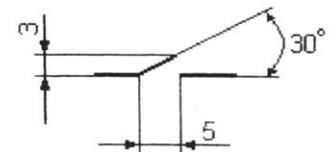
Для всех приборов
Электроизмерительный
прибор



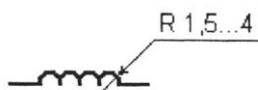
Источники



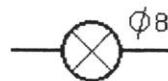
Резистор



Выключатель



Катушка индуктивности



Осветительная лампа



Сигнальная контрольная лампа

3.4. Результаты измерений. Здесь приводятся все таблицы, имеющиеся в описании выполняемой работы.

3.5. Расчетная часть. Сюда должны входить все формулы для расчетов и примеры расчетов. Для однотипных расчетов в этом разделе приводится только расчет одной какой-нибудь строчки.

3.6. Графическая часть. Выполняется карандашом.

3.7. Выводы.

Литература:

1. Зданевич Н.Н. Обучающий и контролирующий комплекс по дисциплине «Электротехника». – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2011. С. 4-9.

Измерение электротехнических величин электроизмерительными приборами

1. Цель занятия.

- 1.1. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности при работе в лаборатории электротехники.
- 1.2. Ознакомиться с порядком выполнения лабораторных работ.
- 1.3. Ознакомиться с устройством лабораторного стенда типа ЛЭС-5.
- 1.4. Приобрести навыки работы с имеющимися в лаборатории электроизмерительными приборами, а именно, навыки определения предела измерения, цены деления прибора, значения измеряемой величины.
- 1.5. Приобрести навыки оформления отчетов в соответствии с ЕСКД.

2. Выполнение работы.

2.1. Таблица измерительных приборов.

Наименование прибора	Тип прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности	Заводской номер

2.2. Определение цены деления прибора:

$C = \text{предел измерения} / \text{число деления прибора}$

2.3. Оборудование стенда:

Резисторы:

2.4. Источники ЭДС:

3. Условные обозначения элементов.

Диод

Клемма

Для всех приборов
Электроизмерительный прибор

Резистор

Источники

Выключатель

Катушка
индуктивности

Осветительная лампа

Сигнальная контрольная лампа

Исследование работы электрической цепи в различных режимах

1. Цель занятия

Исследуя электрическую цепь при изменении внешнего сопротивления убедиться, что:

- 1.1. С увеличением нагрузки R , ток цепи уменьшается.
- 1.2. С увеличением I напряжение на зажимах источника уменьшается.
- 1.3. При увеличении I нагрузки от 0 до $I_{к.з.}$, $P_{потр}$ сперва растет до значения $P_{потр. max} = 1/2 P_{ист}$, а затем убывает до 0.
- 1.4. $P_{потр}$ имеет максимум при $R = R_0$ (режим согласованной нагрузки).

2. Приборы и оборудование

Лабораторный стенд ЛЭС-5 (блок 2, 6, ламповый реостат).

Амперметр 0,25, 0,5, 1 А.

Вольтметр 75, 150 В.

3. Теоретическая часть

В электрической цепи при изменении сопротивления нагрузки сила тока изменяется:

$$I = \frac{E}{R + r_0}.$$

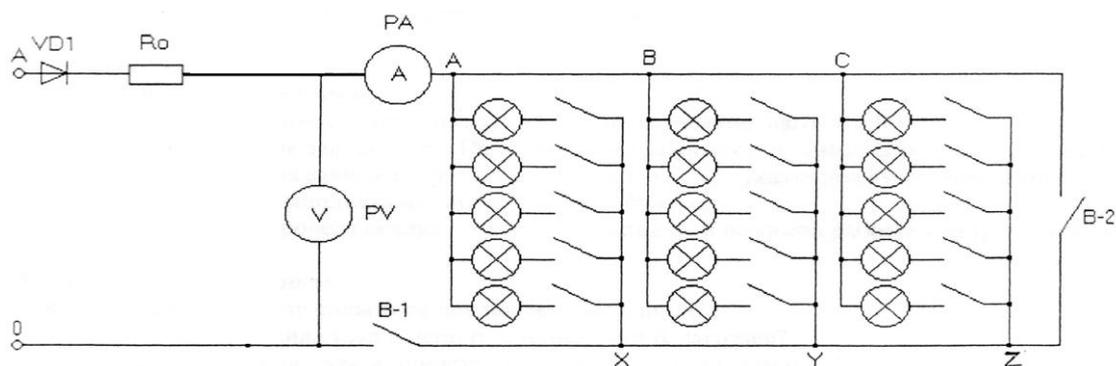
При различных сопротивлениях нагрузки электрическая цепь имеет различные режимы работы:

Холостой ход – цепь разомкнута, при этом ток в цепи отсутствует, т.к. $R = \infty$.

При определенном значении R в цепи проходит определенный ток, и цепь работает в рабочих режимах, из которых выделяется номинальный, как самый экономный и согласованный режим работы, при котором в нагрузку подается максимальная мощность.

Если нагрузка $R = 0$, в цепи наступает режим короткого замыкания, в цепи проходит максимальный ток I_{max} , величина которого определяется значением E , r_0 .

4. Электрическая схема.



5. Порядок выполнения работы

- 5.1. Ознакомиться с типами измерительных приборов и порядком их включения в цепь, записать технические данные приборов.
- 5.2. Определить цену деления каждого используемого прибора.
- 5.3. Собрать электрическую цепь и дать ее проверить преподавателю.
- 5.4. Включить питание стенда.
- 5.5. Включить B-1, B-2 и все лампы реостата. Показания приборов записать в таблицу (опыт 1).
- 5.6. Выключить B-2, снять показания приборов (опыт 2).
- 5.7. Выключать каждый раз по две лампы, снимая показания приборов (опыты 3-9).
- 5.8. Выключить B-1. Показания приборов занести в 10-ю строку (режим холостого хода).
- 5.9. Выключить питание стенда.

Таблица

При внутреннем сопротивлении	№	Измерить		Рассчитать					
		I	U	R	P _{ист}	P _{потр}	P _о	U _о	η
		A	B	Ом	Вт	Вт	Вт	В	%
R _о = R ₁ + R ₃ = 175 Ом	1 (к.з.)								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	9								
	10 (х.х.)								

6. Расчетная часть

6.1. Сопротивление нагрузки:

$$R = \frac{U}{I}.$$

6.2. Внутреннее падение напряжения в источнике:

$$U_o = IR_o.$$

6.3. Мощность источника:

$$P_{ист} = EI = Ux. x. I.$$

6.4. Мощность потребителя:

$$P_{потр} = UI = I^2R.$$

6.5. КПД источника:

$$\eta = \frac{P_{потр}}{P_{ист}} * 100\% = \frac{UI}{EI} * 100\% = \frac{U}{E} * 100\%$$

(вычисления проводить с точностью до 3-го знака).

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Каковы характерные особенности режима холостого хода источника?
- 7.2. Каковы характерные особенности режима короткого замыкания источника?
- 7.3. Какие опыты и расчеты нужно проделать, чтобы определить падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника?
- 7.4. Как определить R₀?
- 7.5. Как рассчитать потери и КПД источника электрической энергии?
- 7.6. Как изменятся мощности P_{ист} и P_{потр} при изменении силы тока?
- 7.7. Как изменится мощность P_{потерь} при изменении силы тока?
- 7.8. ЭДС источника, питающего потребитель с сопротивлением 88 Ом, равна 45 В, а внутреннее сопротивление его равно 2 Ома. Определить мощность генератора.
- 7.9. При токе силой в 10 А напряжение на зажимах источника равно 200 В. При токе силой в 5 А напряжение равно 210 В. Определить ЭДС источника и его внутреннее сопротивление.
- 7.10. Запишите и сформулируйте законы Ома для участка цепи и для всей цепи.

Литература

1. Зданевич Н.Н. Обучающий и контролирующий комплекс по дисциплине «Электротехника». – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2011. С. 10-11.

1. Цель занятия

Исследуя электрическую цепь при изменении внешнего сопротивления, убедиться, что:

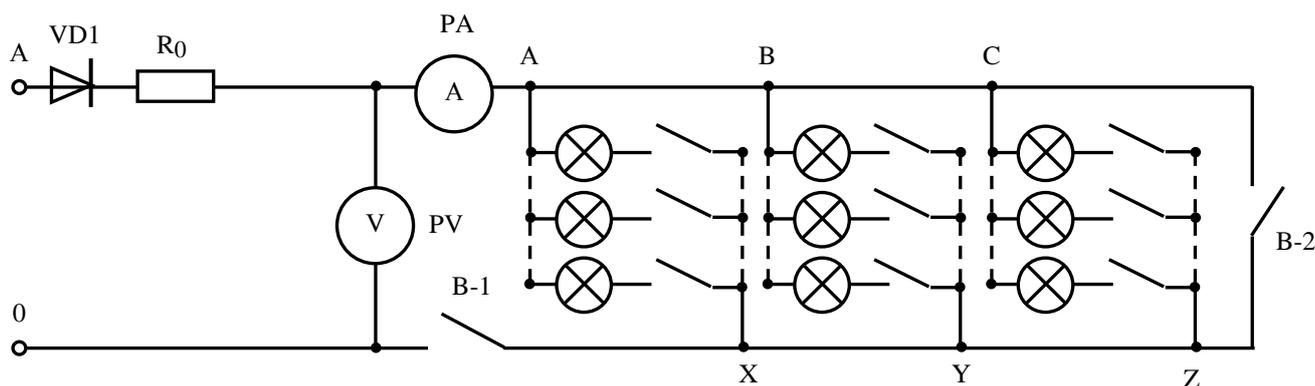
- 1.1. С увеличением нагрузки R ток цепи уменьшается.
- 1.2. С увеличением I напряжение на зажимах источника уменьшается.
- 1.3. При увеличении I нагрузки от 0 до I_{к.з.}, P_{потр} сперва растет до значения P_{потр. max} = 1/2 P_{ист.}, а затем убывает до 0.
- 1.4. P_{потр} имеет максимум при R = R₀ (режим согласованной нагрузки).

2. Выполнение работы

2.1. Таблица используемых электрических измерительных приборов и оборудования.

Наименование прибора	Заводской номер	Тип прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности
Амперметр					
Вольтметр					

2.2. Схема опыта.

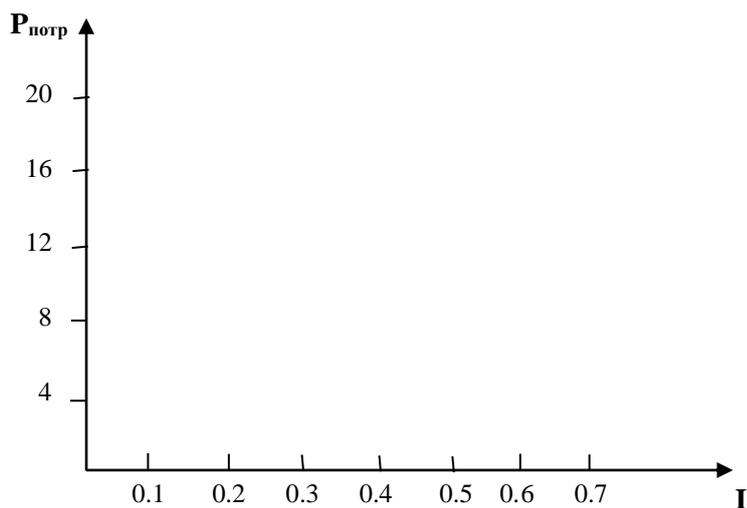
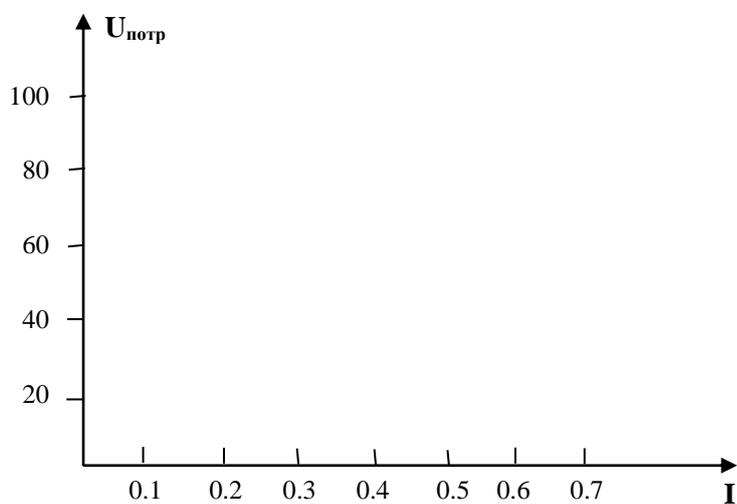
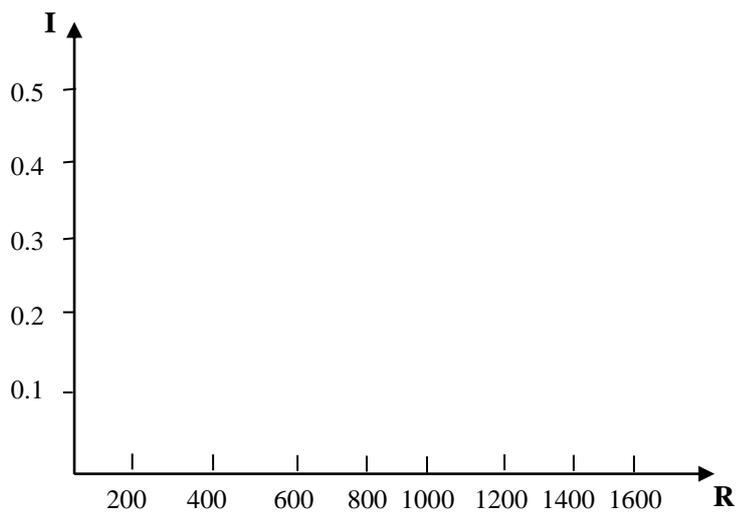


3. Таблица результатов.

При внутреннем сопротивлении	№	Измерить		Рассчитать					
		I	U	R	P _{ист.}	P _{потр.}	P ₀	U ₀	η
		А	В	Ом	Вт	Вт	Вт	В	%
R ₀ = R ₁ + R ₃ = 175 Ом	1 (к.з.)								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	9								
	10 (х.х.)								

2.4. Расчетные формулы: $R = \frac{U}{I}$; $P_{ист} = E \cdot I = U_{х.х.} \cdot I$; $\eta = \frac{P_{номп}}{P_{ист}} * 100\% = \frac{UI}{EI} * 100\% = \frac{U}{E} * 100\%$;

$U_0 = IR_0$; $P_{номп} = UI = I^2 R$.



3. Выводы.

- 4.1. Запишите формулу силы тока для исследуемой цепи.
- 4.2. Как изменяется сила тока в цепи при изменении R нагрузки?
- 4.3. Как изменяется напряжение на выходе источника при изменении I нагрузки?
- 4.4. Как изменяется полезная мощность при изменении I нагрузки?
- 4.5. Какие режимы работы цепи вы наблюдали при опытах, и чем они характерны?

Исследование неразветвленной цепи с несколькими источниками**1. Цель занятия**

- 1.1. Изучить режимы работы источников электрической энергии, делая анализ соотношения между ЭДС и напряжением на зажимах каждого источника ЭДС.
- 1.2. Определить внутреннее сопротивление источников.
- 1.3. Измерить потенциалы точек электрической цепи и сравнить их с расчетными.
- 1.4. Построить потенциальную диаграмму.

2. Приборы и оборудование

- 2.1. Лабораторный стенд ЛЭС-5 (блок 2, 6).
- 2.2. Измерительные приборы: амперметр на 0.25 А; вольтметр на 15 В и 30 В.

3. Теоретическая часть

В электрической цепи источники электрической энергии могут включаться согласно и встречно.

При согласном включении:

$$E_{\text{общ}} = E_1 + E_2.$$

При встречном включении:

$$E_{\text{общ}} = E_1 - E_2, \text{ при условии } E_1 > E_2.$$

Поэтому возможна работа источника в режиме генератора:

$$E = U + I r_0 = > U = E - I r_0;$$

и в режиме потребителя:

$$U = E + I r_0,$$

где U – напряжение на зажимах источника;

r_0 – внутренне сопротивление источника электрической энергии.

При прохождении тока, каждая точка электрической цепи имеет свой потенциал, который измеряется вольтметром. Ток в резисторе всегда направлен от большего потенциала к меньшему:

$$V_2 = V_1 + IR_5.$$

На участке электрической цепи с источником потенциал будет увеличиваться, если идем по направлению ЭДС источника:

$$V_3 = V_2 + E_1,$$

$$V_3 = V_2 + E_1 + I r_{01} \text{ (с учетом внутреннего сопротивления источника).}$$

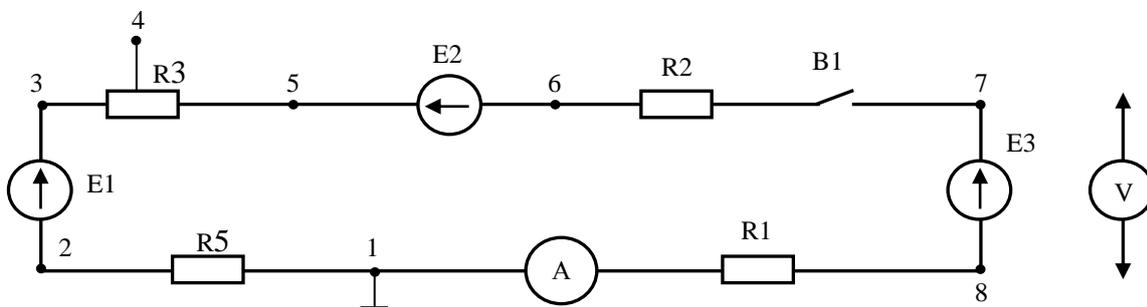
4. Электрическая схема

Рис. 1

5. Порядок выполнения работы

- 5.1. Ознакомиться с приборами, заполнить таблицу технических данных приборов.
- 5.2. Собрать электрическую цепь. Пригласить преподавателя для проверки схемы.

5.3. Включить стенд и вольтметром поочередно на каждом источнике замерить ЭДС (В1 выключить) и напряжение на зажимах источника – U (В1 включить). Результаты занести в табл. 1.

Таблица 1

Измерить						Вычислить		
E ₁	E ₂	E ₃	U ₁	U ₂	U ₃	R ₀₁	R ₀₂	R ₀₃
В	В	В	В	В	В	Ом	Ом	Ом

5.5. Один конец вольтметра подключить к точке 1 (принимаям $V_1 = 0$), а другой конец поочередно подключаем к точкам 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, при этом каждый раз вольтметр будет показывать потенциал соответствующей точки. Значения всех потенциалов занести в табл. 2.

Таблица 2

Измерить									Вычислить								
I	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	I	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈
А	В	В	В	В	В	В	В	В	А	В	В	В	В	В	В	В	В

6. Расчетная часть

6.1. Рассчитать внутреннее сопротивление источников, пользуясь формулами:

$R_0 = (E - U) / I$ – для источника, работающего в режиме генератора.

$R_0 = (U - E) / I$ – для источника, работающего в режиме потребителя электроэнергии.

Результаты расчетов записать в табл. 1.

6.2. Пользуясь значениями ЭДС $E_1 = E_2 = 5$ В, $E_3 = 20$ В и их внутренними сопротивлениями, а также известными величинами всех резисторов: $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 35$ Ом, $R_3 = 75$ Ом, $R_5 = 30$ Ом, включенных в цепь (сопротивления участков $R_{34} = R_{45} = \frac{R_3}{2}$), рассчитать ток в цепи

и потенциалы всех точек относительно точки 1 ($V_1 = 0$) при обходе электрической цепи против тока. Результаты расчетов занести в табл. 2. Сравнить полученные результаты с опытными данными.

7. Контрольные вопросы.

7.1. Какие режимы работы источников вам известны?

7.2. Как измерить ЭДС источника и напряжение на его зажимах?

7.3. Запишите формулу закона Ома и проанализируйте ее (рис. 2, схемы 1 и 2).

7.4. Как определить направление тока в неразветвленной цепи, имеющей несколько источников (рис. 2, схемы 1 и 2)?

7.5. Что такое потенциал точки?

7.6. Как изменяются потенциалы точек на участке с ЭДС?

7.7. Как изменяются потенциалы точек на участке с сопротивлением?

7.8. Как определить направление тока в неразветвленной цепи, имеющей несколько ЭДС.

7.9. Можно ли определить направление тока на резисторе, если известны потенциалы на его концах?

7.10. Как следует при построении потенциальной диаграммы откладывать сопротивления?

Литература

1. Зданевич Н.Н. Обучающий и контролирующий комплекс по дисциплине «Электротехника». – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2011. С. 18-19.

1. Цель занятия

- 1.1. Изучить режимы работы источников электрической энергии, делая анализ соотношения между ЭДС и напряжением на зажимах каждого источника ЭДС.
- 1.2. Определить внутреннее сопротивление источников.
- 1.3. Измерить потенциалы точек электрической цепи и сравнить их с расчетными.
- 1.4. Построить потенциальную диаграмму.

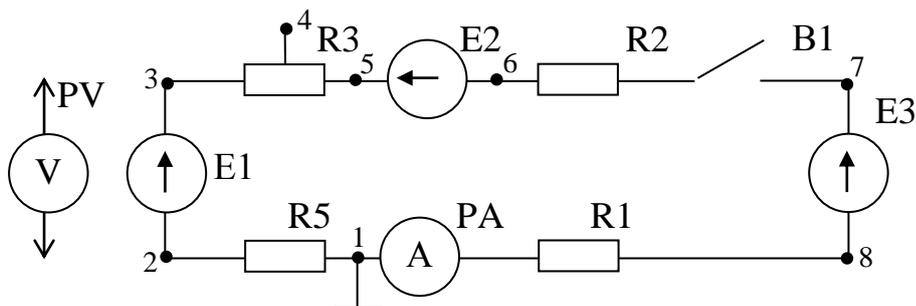
2. Выполнение работы

2.1. Таблица приборов.

Таблица 1

Наименование приборов	Заводской номер	Тип прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности
Вольтметр					
Амперметр					

2.2. Схема опытов.



2.3. Результаты измерений.

Таблица 2

Измерить						Вычислить		
E ₁ , В	E ₂ , В	E ₃ , В	U ₁ , В	U ₂ , В	U ₃ , В	R ₀₁ , Ом	R ₀₂ , Ом	R ₀₃ , Ом

Таблица 3

Измерить									Вычислить								
I	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	I	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈
A	B	B	B	B	B	B	B	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B
	0									0							

3. Расчетная часть

3.1. По опытным данным:

R₀₁ =

R₀₂ =

R₀₃ =

3.2. Теоретический расчет:

$$I =$$

$$V_1 =$$

$$V_2 =$$

$$V_6 =$$

$$V_3 =$$

$$V_7 =$$

$$V_4 =$$

$$V_8 =$$

$$V_5 =$$

$$\text{Проверка: } V_1 =$$

4. Графическая часть

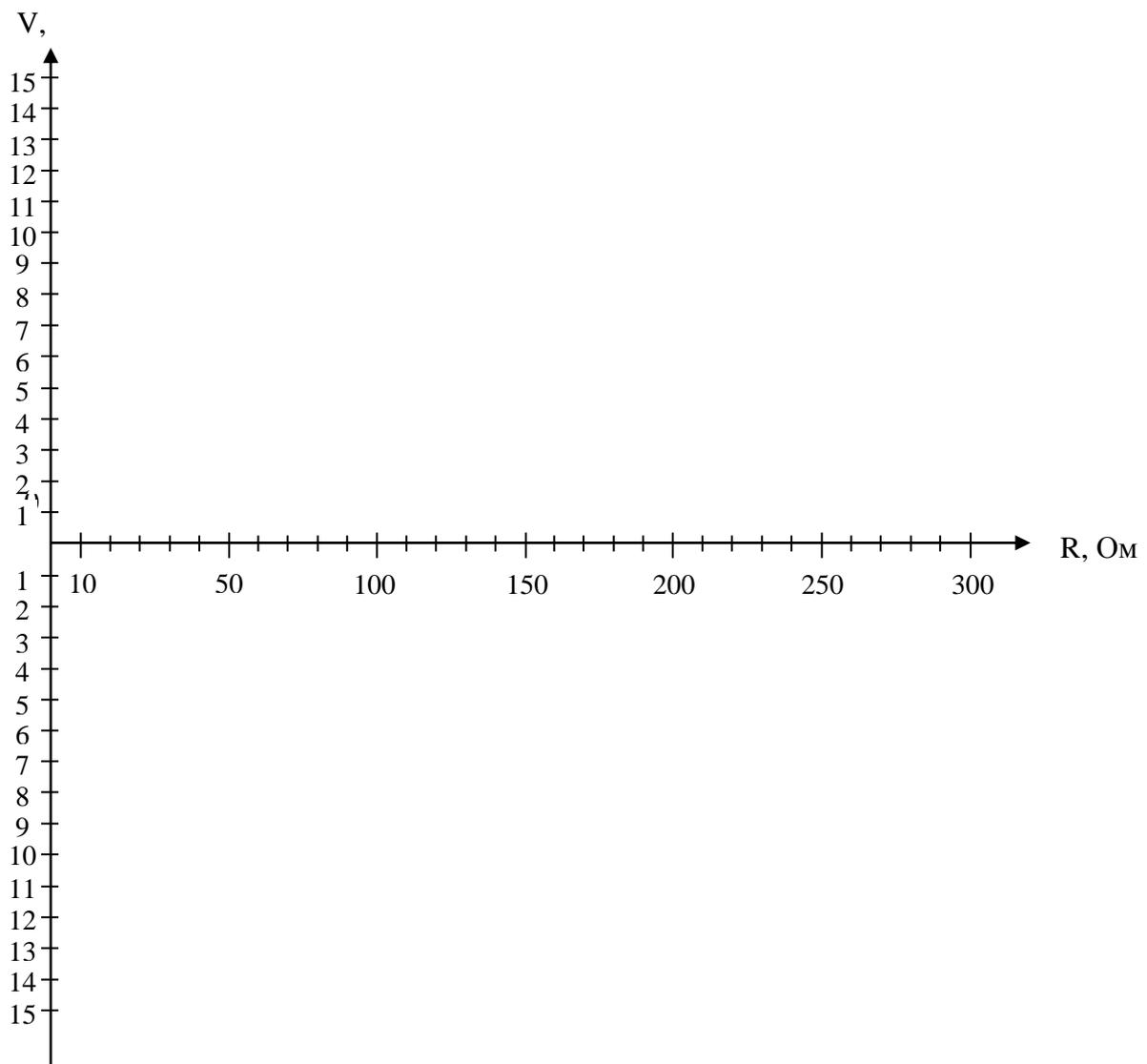
Построение потенциальной диаграммы по опытным и расчетным значениям.

5. Выводы

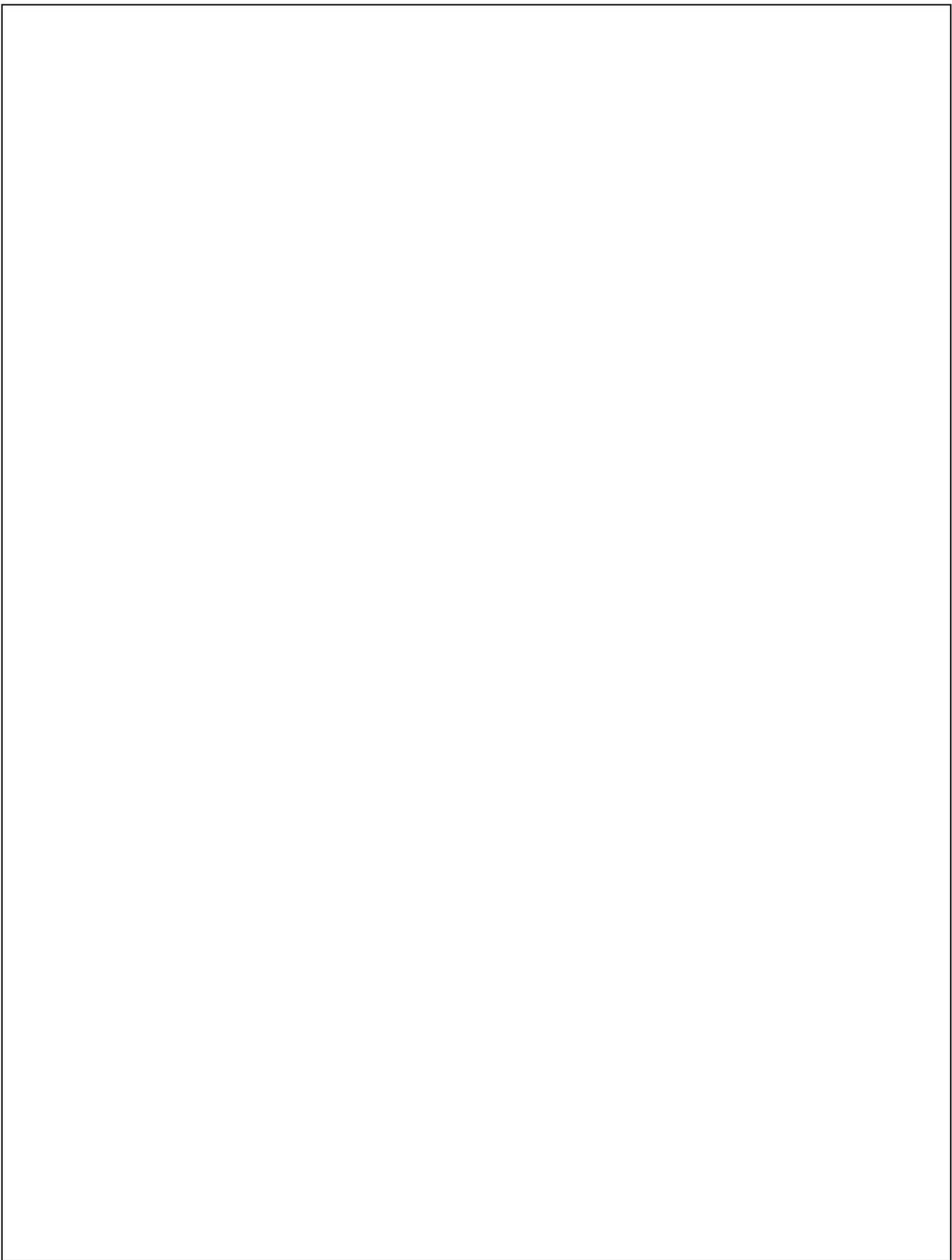
5.1. Какие существуют режимы работы источников E_1 , E_2 , E_3 исследуемой цепи и как их определить по опытным данным?

5.2. Что такое потенциальная диаграмма?

5.3. Как изменяется потенциал на участках цепи с сопротивлением и ЭДС?



– V, В



Ответы на вопросы

2. Приборы и оборудование

- платформа NI ELVIS II ;
- Наборное поле с комплектом элементов R1 (200 Ом), R2 (1000), R3 (2000) и R4 (4700) и напряжений источников E1 (5В), E2 (10В).
- ПК.

3. Теоретическая часть

В многоконтурной цепи применяется первый и второй законы Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа устанавливает связь между суммой токов, направленных к узлу (положительные), и суммой токов, направленных от узла (отрицательные).

Алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле равна нулю.

Например, для узла S (рис.1) можно записать:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 \quad \text{или} \quad -I_1 - I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

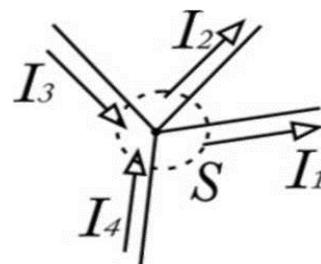


Рис. 1

Первый закон Кирхгофа

Алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю или

В узле сумма токов, направленных к узлу, равна сумме токов, направленных от узла.

Второй закон Кирхгофа устанавливает связь между суммой электродвижущих сил и суммой падений напряжений на сопротивлениях замкнутого контура электрической цепи (рис.2).

Токи, совпадающие с произвольно выбранным направлением обхода контура, считаются положительными, а не совпадающие – отрицательными.

Алгебраическая сумма ЭДС источников в контуре электрической цепи равна алгебраической сумме падений напряжений на сопротивлениях того же контура.

$$E_1 + E_3 - E_4 = I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3$$

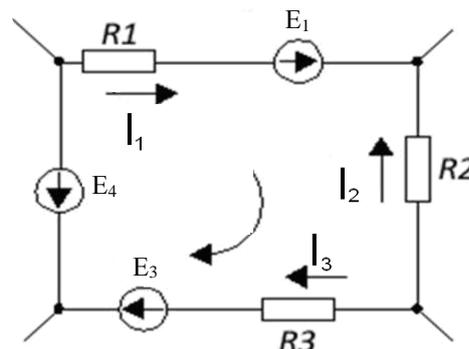


Рис. 2

3. Порядок выполнения работы.

Для выполнения лабораторной работы необходимо выбрать в меню строку «Законы Кирхгофа», в правом нижнем углу открывшейся лицевой панели представлены подробные инструкции по выполнению.

1. Соберите на макетной плате схему (рис.3, см. рис.4)
2. Нажмите «Старт».
3. Измерьте постоянный ток в цепях сопротивления, соединенных в узлы "А", и "В" (рис. 4) при помощи цифрового мультиметра DMM, имеющегося на установке ELVIS, для чего выполните следующее:
 - 3.1. Снимите перемычку J1 в цепи П1 и подключите к цепи амперметр (для этого вместо перемычки подсоедините щупы DMM, соблюдая полярность – наконечник красного цвета должен быть подключен к узлу А).

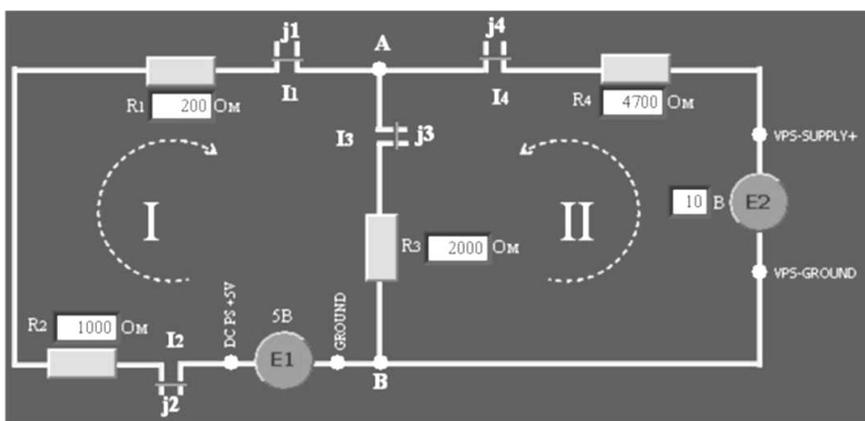


Рис.3

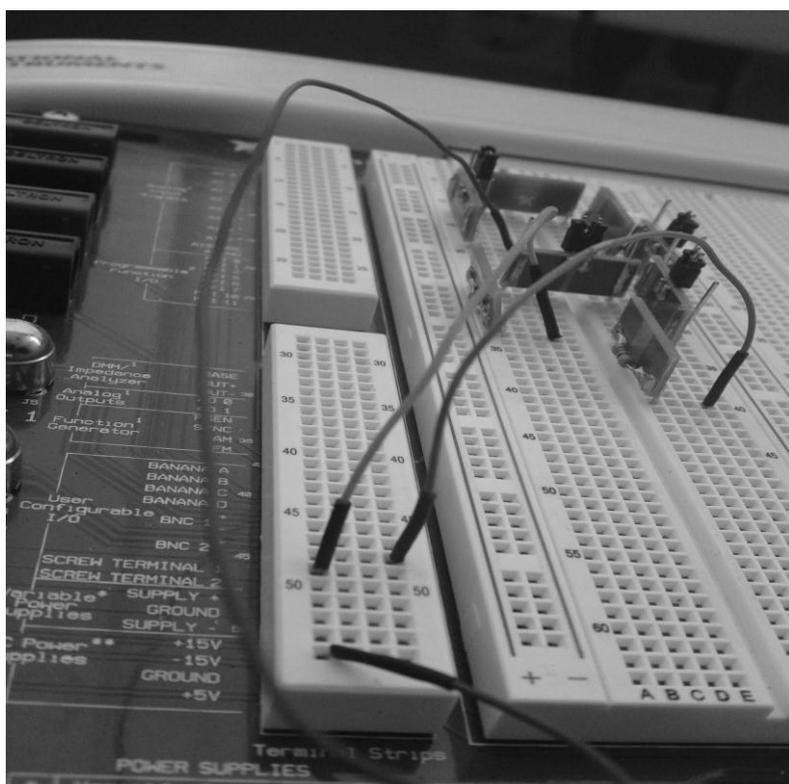


Рис.4

- 3.2. Нажмите «Измерить», при этом измеренное значение силы тока I_1 запишите в таблицу.
- 3.3. Отключите щупы DMM и верните перемычку J_1 .
- 3.4. Снимите перемычку J_2 в цепи I_2 и подключите к цепи амперметр (для этого вместо перемычки подсоедините щупы DMM, соблюдая полярность – наконечник красного цвета должен быть подключен к узлу B).
- 3.5. Нажмите «Измерить», при этом измеренное значение силы тока I_2 запишите в таблицу.
- 3.6. Отключите щупы DMM и верните перемычку J_2 .
- 3.7. Снимите перемычку J_3 в цепи I_3 и подключите к цепи амперметр (для этого вместо перемычки подсоедините щупы DMM, соблюдая полярность – наконечник красного цвета должен быть подключен к узлу A).
- 3.7. Нажмите «Измерить», при этом измеренное значение силы тока I_3 запишите в таблицу.
- 3.8. Отключите щупы DMM и верните перемычку J_3 .
- 3.9. Снимите перемычку J_4 в цепи I_4 и подключите к цепи амперметр (для этого вместо перемычки подсоедините щупы DMM, соблюдая полярность – наконечник красного цвета должен быть подключен к узлу A).

3.10. Нажмите «Измерить», при этом значение силы тока I_4 и напряжений запишите в таблицу.

I_1	I_2	I_3	I_4	U_{R1}	U_{R2}	U_{R3}	U_{R4}

4. Расчетная часть

4.1 Напишите уравнения первого закона Кирхгофа для узлов «А» и «В» для электрической цепи (см. рис. 3)

для узла "А":

для узла "В":

4.2. Напишите уравнения второго закона Кирхгофа для

контура "Г":

контура "П":

4.3. Рассчитать значения протекающих токов в многоконтурной цепи (см. рис.3), если R_1 (200 Ом), R_2 (1000), R_3 (2000), R_4 (4700), E_1 (5 В), E_2 (10 В) и сравнить с опытными данными.

5. Контрольные вопросы

5.1. В чем заключается смысл первого закона Кирхгофа?

5.2. Какие токи считаются положительными, и какие отрицательными при составлении уравнений первого закона Кирхгофа?

5.3. В чем заключается второй закон Кирхгофа?

5.4. Какие ЭДС и падения напряжения считаются положительными, и какие отрицательными при составлении уравнений второго закона Кирхгофа?

5.5. Сколько контуров в схеме (рис. 5)?

5.6. Как изменится уравнение, составленное по второму закону Кирхгофа, если обходить контур в обратном направлении?

5.7. Запишите уравнения по первому закону Кирхгофа для точек А, В, С (рис. 5).

5.8. Запишите уравнения по второму закону Кирхгофа для всех контуров схемы (рис. 5).

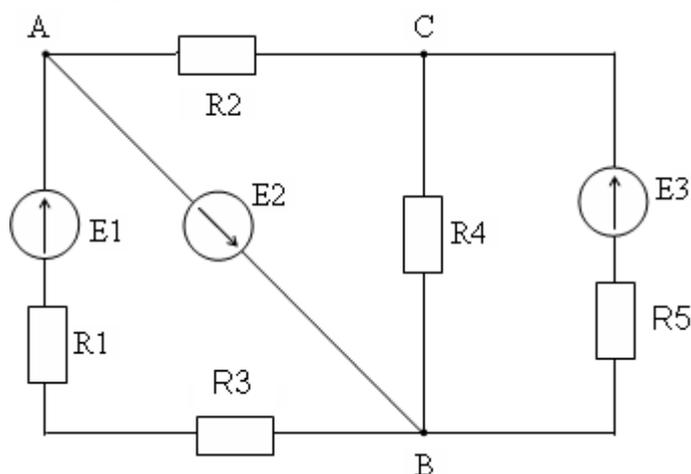


Рис. 5

Литература

1. Зданевич Н.Н. Обучающий и контролирующий комплекс по дисциплине «Электротехника». – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2011. С. 24-26.

1. Цель работы : исследование первого и второго законов Кирхгофа

2. Выполнение работы:

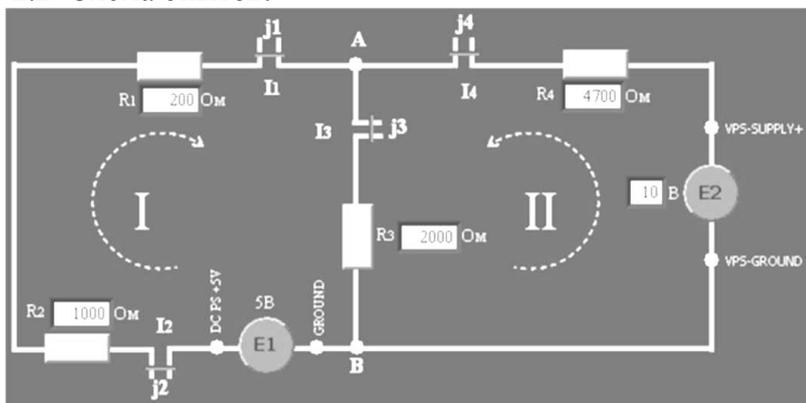
2.1 Перечень используемого оборудования:

-платформа NI ELVIS II;

-Наборное поле с комплектом элементов. R1 (200 Ом), R2 (1000), R3 (2000) и R4 (4700) и напряжений источников E1 (5В), E2 (10В).

-ПК.

2.2 Схема опытов:



2.3 Таблица результатов

I1	I2	I3	I4	I1 R1	I2 R2	I3 R3	I4 R4

3. Выводы:

3.1. Напишите уравнения по первому закону Кирхгофа для узлов "А" и "В" исследуемой электрической цепи.

узел "А": _____ узел " В ": _____

3.2. Напишите уравнения по второму закону Кирхгофа для замкнутых контуров "1" и "2"
контур "I": _____ контур "II": _____

3.3. Рассчитать значения протекающих токов и сравнить с опытными данными, если принять значения сопротивлений R1 200 Ом, R2 1000 Ом, R3 2000 Ом, и R4 4700 Ом и напряжений источников E1 5В, E2 10В.

Экспериментальная проверка принципа наложения токов**1. Цель занятия**

- 1.1. Опытным путем проверить расчет электрической цепи.
- 2.2. Научиться определять направление тока на резисторе с помощью вольтметра,

2. Приборы и оборудование

Лабораторный стенд ЛЭС-5 (блок 2,6).

Амперметр 0,25 А.

Вольтметр 30 В.

3. Теоретическая часть

Если разветвленная электрическая цепь содержит источники в разных ветвях, то для расчета силы токов можно применить метод наложения. Метод наложения заключается в том, что составляются частичные схемы, и определяется сила частичных токов, возникающих во всех ветвях под действием источников только одной ветви. ЭДС остальных источников не учитывается, но учитываются их внутренние сопротивления. Затем рассчитываются токи во всех ветвях от источников только второй ветви и т.д.

Таким образом, получается, что в каждой цепи существует столько частичных схем, сколько ветвей с источниками в цепи. Реальный ток в каждой ветви определяется как алгебраическая сумма частичных токов этой ветви.

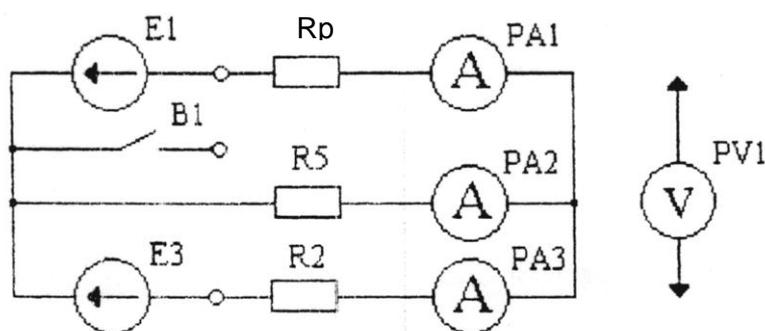
4. Электрическая схема

Рис. 1.

PA1, PA2, PA3 – амперметры с пределами 0,25, 0,5, 1А;

PV1 – вольтметр М-45 м на 30 В со свободными концами;

E1, E3 – источники ЭДС (блок № 2 – U1 и U2);

R – реостат (одна секция $R = 15 \text{ Ом} \pm 10\%$);R2, R5 – резисторы (блок № 6, $R2 = 35 \text{ Ом} \pm 10\%$, $R5 = 30 \text{ Ом} \pm 10\%$);

B1 – выключатель (тумблер блока № 6)

5. Порядок выполнения работы.

- 5.1. Ознакомиться с типами измерительных приборов и порядком включения их в цепь, записать технические данные.
- 5.2. Собрать электрическую цепь и пригласить преподавателя для проверки схемы.
- 5.3. Включить питание стенда и источники ЭДС. Измерить токи в цепи и записать их значения в таблицу.

Таблица

Включены E1 и E3			Включен источник E1			Включен источник E3		
I ₁	I ₂	I ₃	I ₁ '	I ₂ '	I ₃ '	I ₁ ''	I ₂ ''	I ₃ ''
А	А	А	А	А	А	А	А	А

- 5.4. В электрической цепи с включенной E1 и E3 с помощью вольтметра магнитоэлектрической системы, измеряя напряжение на резисторах, установить направление токов в ветвях и отметить их стрелками на схеме. В дальнейшем эти направления токов в ветвях считать условно положительными. Выключить стенд.
- 5.5. Пересоединить проводник, подключенный к зажиму «минус источника E3», на свободную клемму выключателя В1. Включить питание стенда.
- 5.6. Измерить частичные токи и записать их в табл. 1. Выключить питание стенда. Вернуть проводник с выключателя В1 на «минус источника E3».
- 5.7. Пересоединить проводник, подключенный к зажиму «минус источника E1» на свободную клемму выключателя В1. Включить питание стенда.
- 5.8. Измерить частичные токи и записать их в табл. 1. Выключить питание стенда.
- 5.9. Сравнить результаты теоретического расчета с опытными данными и сделать соответствующие выводы.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. В чем заключается метод расчета цепей по принципу наложения?
- 6.2. Что такое частичные токи?
- 6.3. Для приведенной ниже схемы (рис. 2) составьте частичные схемы и укажите направление частичных токов.
- 6.4. Запишите формулы расчета силы частичных токов?
- 6.5. Как определить направление частичных токов?
- 6.6. Запишите реальные токи.
- 6.7. Какие частичные токи считаются положительными, а какие отрицательными при расчете реальных токов?
- 6.8. Как с помощью вольтметра определить направление тока в исследуемой цепи (с 2-мя источниками)?
- 6.9. Вольтметр какой системы используется для определения направления тока?

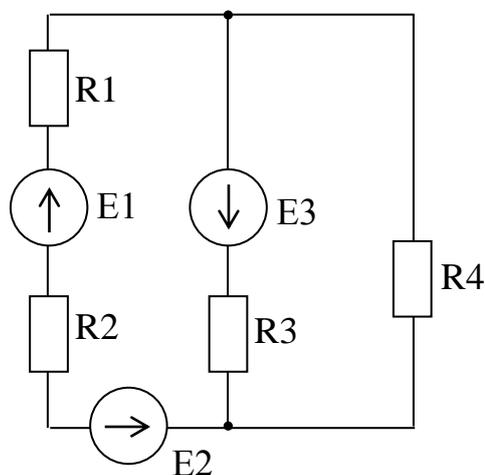


Рис. 2

Литература

1. Зданевич Н.Н. Обучающий и контролируемый комплекс по дисциплине «Электротехника». – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2011. С. 29-30.

1. Цель занятия

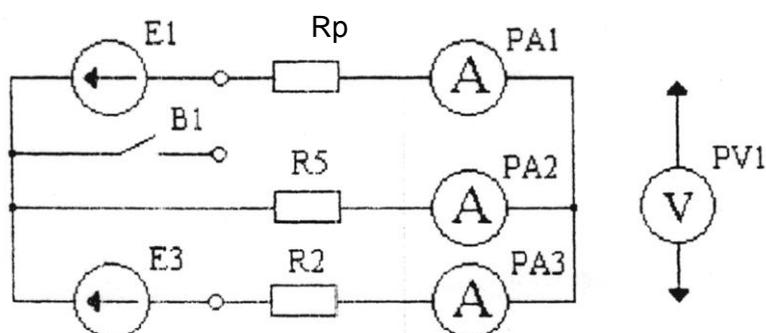
- 1.1. Опытным путем проверить расчет электрической цепи методом наложения.
- 1.2. Научиться определять направление тока на резисторе с помощью вольтметра.

2. Выполнение работы

- 2.1. Электроизмерительные приборы, используемые в работе.

Наименование прибора	Заводской номер	Тип прибора	Предел измерений	Цена деления	Класс точности
Амперметр					
Вольтметр					

- 2.2. Электрическая схема опыта.



- 2.3. Результаты измерений.

Таблица 1

Включены E1 и E3			Включен источник E1			Включен источник E3		
I_1	I_2	I_3	I_1'	I_2'	I_3'	I_1''	I_2''	I_3''
А	А	А	А	А	А	А	А	А

3. Расчетное задание

Привести полностью расчет электрической цепи методом наложения по следующим параметрам: $E1 = 5 \text{ В}$; $E3 = 20 \text{ В}$; $R = 15 \text{ Ом}$; $R2 = 35 \text{ Ом}$; $R5 = 30 \text{ Ом}$. При расчете вычертить схемы для расчета частичных токов. Заполнить табл. 2.

Результаты расчетов.

Таблица 2

Включены E1 и E3			Включен источник E1			Включен источник E3		
I_1	I_2	I_3	I_1'	I_2'	I_3'	I_1''	I_2''	I_3''
А	А	А	А	А	А	А	А	А

Исследование цепи переменного тока, состоящей из последовательно включенных катушек индуктивности и активного сопротивления

1. Цель занятия

- 1.1. Получить практические навыки по измерению параметров электрической цепи переменного тока с помощью амперметра, вольтметра и ваттметра.
- 1.2. Опытным путем определить полное, активное и реактивное сопротивления для реальной катушки и вычислить индуктивность катушки.
- 1.3. Построить векторную диаграмму цепи RL.

2. Приборы и оборудование

2.1 Лабораторный стенд ЛЭС-5 (блок 5,6)

2.2 Измерительные приборы:

Амперметр с пределом измерения 1 А.

Вольтметр с пределом измерения 150 в.

Ваттметр с пределом измерения 150 в, 1 А.

Катушка индуктивности L1 – 1200 витков, L2 – 2400 витков.

3. Теоретическая часть

В цепи, содержащей активное сопротивление и индуктивность, вектор активного напряжения совпадает с вектором тока, вектор индуктивного напряжения опережает ток на угол 90° .

Полное напряжение равно геометрической сумме напряжений на отдельных участках

$U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2}$ и опережает вектор тока на угол φ (рис. 1).

Цепь обладает полным сопротивлением

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X_L^2},$$

которое содержит R – активное сопротивление, X_L – реактивно-индуктивное сопротивление, которое зависит от угловой частоты – ω и индуктивности – L :

$$X_L = \omega L = 2\pi f L.$$

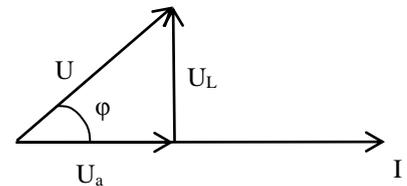


Рис. 1

Цепь потребляет полную мощность $S = U I$ (В А), которая содержит:

активную мощность $P = U_a I$ (Вт) и реактивно-индуктивную мощность $Q_L = U_L I$ (Вар).

4. Электрическая схема

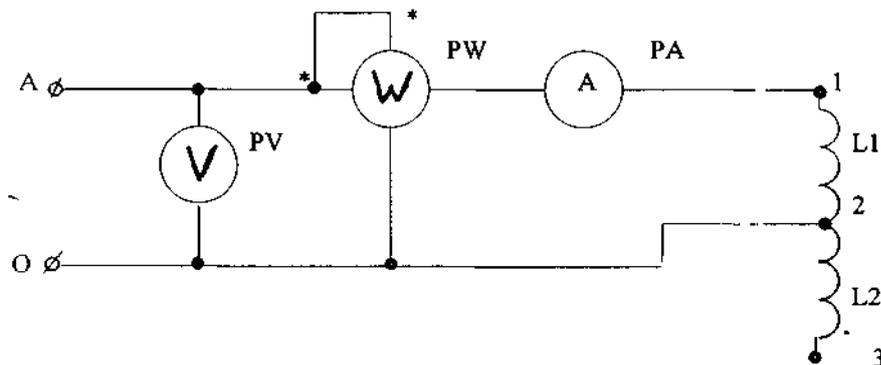


Рис. 2

5. Порядок выполнения работы

- 5.1. Ознакомиться с типами измерительных приборов и порядком их включения, поставить на приборах необходимые пределы измерения.
- 5.2. В форму, предусмотренную отчетом, записать технические данные используемых приборов.
- 5.3. Собрать электрическую цепь (рис. 2) и дать проверить ее преподавателю.
- 5.4. Включить схему и записать показания всех приборов. Включена катушка L1, зажимы 1-2.
- 5.5. Выключить схему. Подключить катушку L2, зажимы 2-3 и провести замеры, записав в таблицу.
- 5.6. Выключить питание стенда и результаты измерений показать преподавателю.

Катушка	Измерить			Вычислить								
	I А	U В	P Вт	Z Ом	R Ом	X _L Ом	U _a В	U _L В	S ВА	Q ВАР	L Гн	φ Град
L1 (1-2)												
L2 (2-3)												

6. Расчетная часть

6.1. Вычислить величины.

6.1.1. Полное сопротивление цепи: $Z = \frac{U}{I}$.

6.1.2. Активное сопротивление: $R = \frac{P}{I^2}$.

6.1.3. Реактивное сопротивление: $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$.

6.1.4. Индуктивность катушки: $L = \frac{X_L}{2\pi f}$.

6.1.5. Активную и реактивную составляющую напряжения: $U_a = I R$ $U_L = I X_L$

6.1.6. Полную и реактивную мощность:

$$\begin{aligned} S &= I^2 Z & \text{или} & & S &= UI \\ Q &= I^2 X_L & \text{или} & & Q &= U_L I \end{aligned}$$

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Изобразите векторную диаграмму активно-индуктивной нагрузки.
- 7.2. Как рассчитать полное сопротивление, если известны активное и реактивное сопротивления?
- 7.3. Запишите формулу расчета силы тока в цепи.
- 7.4. Каковы особенности энергетических процессов в цепи с реальной катушкой?
- 7.5. Чему равно полное сопротивление реального конденсатора и реальной катушки, если их включить в сеть постоянного тока?
- 7.6. Дано: $R = 4 \text{ Ом}$, $X_L = 3 \text{ Ом}$, $U_3 = 12 \text{ В}$. Определить показания вольтметров (рис. 3).

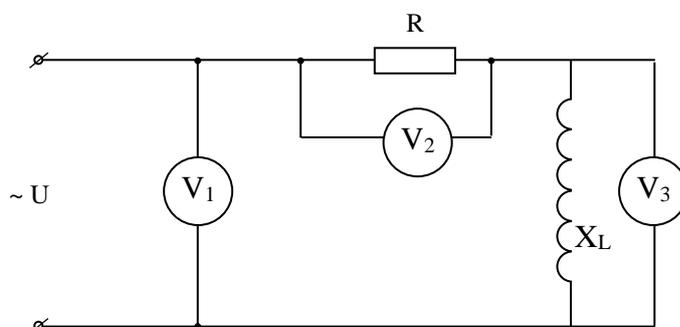


Рис. 3

Литература:

1. Зданевич Н.Н. Обучающий и контролирующий комплекс по дисциплине «Электротехника». – Ростов-на/Д: РКРИПТ, 2011. С. 74-76.

Лабораторное занятие № 6
**Исследование цепи переменного тока, состоящей
из последовательно включенных катушек
индуктивности и активного сопротивления**

1. Цель занятия

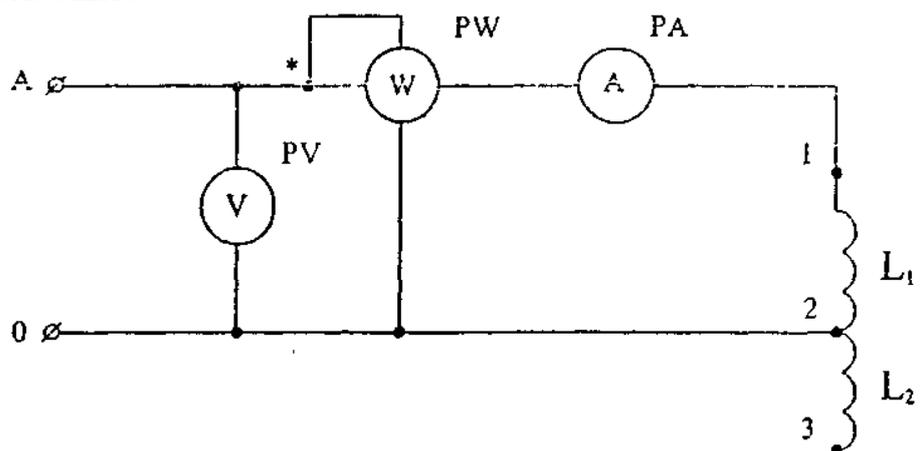
- 1.1. Получить практические навыки по измерению параметров электрической цепи переменного тока с помощью амперметра, вольтметра и ваттметра.
- 1.2. Опытным путем определить полное активное и реактивное сопротивление для цепи RL и вычислить индуктивность катушки.
- 1.3. Получить навыки в построении векторных диаграмм.

2. Выполнение работы

- 2.1. Электроизмерительные приборы, используемые в работе.

Наименование прибора	Заводской номер	Тип прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности
Амперметр					
Вольтметр					
Ваттметр					

- 2.2. Электрическая схема опыта.



- 2.3. Результаты измерений.

Катушка	Измерить			Вычислить								
	I А	U В	P Вт	Z Ом	R Ом	X _L Ом	U _a В	U _L В	S ВА	Q ВАР	L Гн	φ Град
L1 (1-2)												
L2 (2-3)												

3. Расчетные формулы: $Z = \frac{U}{I}$; $R = \frac{P}{I^2}$; $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$;

$U_a = I \cdot R$; *Ошибка! Ошибка связи.* $U_L = I \cdot X_L$; *Ошибка! Ошибка связи.* $Q = U_L \cdot I$; *Ошибка! Ошибка связи..*

4. **Графическая часть** – построить треугольники напряжений и сопротивлений.

5. Выводы

- 5.1. Как определить полное сопротивление цепи?
- 5.2. Какой прибор, кроме А и V, необходим для определения активного и реактивного сопротивления цепи?
- 5.3. Что надо знать для определения индуктивности?
- 5.4. Запишите уравнение тока, напряжения, используя опытные данные, приняв начальную фазу

Исследование цепи последовательного соединения конденсатора и активного сопротивления

1. Цель занятия

- 1.1. Получить практические навыки по измерению параметров электрической цепи переменного тока с помощью амперметра, вольтметра и фазометра.
- 1.2. Опытным путем определить полное, активное и реактивное сопротивление для цепи RC и вычислить емкость конденсатора.
- 1.3. Получить навыки в построении векторных диаграмм.

2. Приборы и оборудование

Лабораторный стенд ЛЭС-5 (блок 5,6).
 Амперметр с пределом измерения 1 А.
 Вольтметр – 150 В.
 Фазометр – 5 А и 127 В.

3. Теоретическая часть

В цепи содержащей активное сопротивление и емкость, вектор активного напряжения совпадает с вектором тока по фазе, вектор емкостного напряжения отстает от вектора тока на 90 градусов. Полное напряжение равно геометрической сумме напряжений на отдельных участках:

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_c^2}.$$

и отстает от тока на угол φ , то угол φ будет отрицательным, т.е. ток опережает напряжение на угол φ (рис. 1).

Цепь обладает полным сопротивлением:

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X_c^2};$$

которое содержит R – активное сопротивление,
 X_c – реактивно-емкостное сопротивление:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{\omega C}.$$

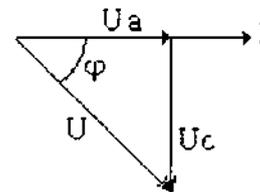


Рис. 1

Цепь потребляет полную мощность: $S = UI$ (ВА), которая содержит активную мощность: $P = U_a I$ (Вт) и реактивно-емкостную мощность $Q_c = U_c \cdot I$ (Вар).

4. Электрическая схема

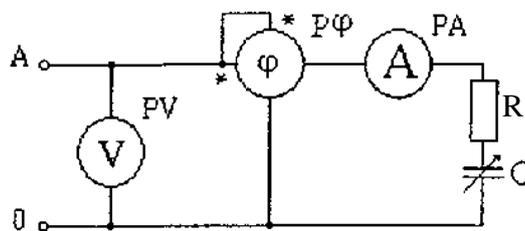


Рис. 2

5. Порядок выполнения работы

- 5.1. Ознакомиться с типами измерительных приборов и порядком включения их в цепь, поставить на приборы необходимые пределы измерения.
- 5.2. В форму, предусмотренную отчетом, записать технические данные используемых приборов.

- 5.3. Собрать электрическую цепь (рис. 2) и дать проверить ее преподавателю.
 5.4. Включить схему и записать в таблицу показания приборов для опыта, когда $C = 10 \text{ мкФ}$;
 $C = 20 \text{ мкФ}$.

Таблица 1

Емкость мкФ	Измерить							Вычислить					
	φ	I	U	Z	R	X_c	U_a	U_c	S	Q	C	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$
		А	В	Ом	Ом	Ом	В	В	В А	Вар	мкФ		
C1=10													
C2=20													

5.6. Вычислить величины.

5.6.1. Полное сопротивление цепи: $Z = \frac{U}{I}$.

5.6.2. Активное сопротивление: $R = Z \cos \varphi$.

5.6.3. Реактивное сопротивление: $X_c = Z \sin \varphi$.

5.6.4. Емкость конденсатора: $C = \frac{1}{2\pi f X_c} = \frac{1}{\omega C}$.

5.6.5. Активную и реактивную составляющую напряжения:

$$U_a = IR, \quad U_c = IX_c.$$

5.6.6. Полную и реактивную мощность:

$$S = UI; \quad Q_c = U_c \cdot I;$$

5.7. Построить векторную диаграмму, треугольники сопротивлений и мощностей

6. Контрольные вопросы.

- Изобразите векторную диаграмму для активно-емкостной нагрузки.
- Как рассчитать полное сопротивление, если известно активное и реактивное сопротивления?
- Запишите формулы расчета силы тока в цепи.
- Каковы особенности энергетических процессов в цепи с реальным конденсатором?
- Чему равно полное сопротивление реального конденсатора и реальной катушки, если их включить в сеть постоянного тока?
- Как изменится X_c , I, U_a , U_c , φ в неразветвленной цепи, содержащей активное и емкостное сопротивление, если увеличится емкость конденсатора?
- Даны мгновенные значения тока и напряжения цепи: $i = 14,1 \sin(\omega t + 70^\circ)$, $u = 141 \sin(\omega t + 25^\circ)$. Нарисовать схему и определить φ .
- На участке цепи напряжение $U = 28,2 \text{ В}$, а сила тока $I = 2 \text{ А}$. Определить сопротивление участка, если известна векторная диаграмма (рис. 3).

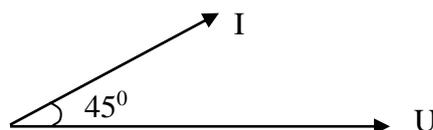


Рис. 3

Литература:

- Зданевич Н.Н. Обучающий и контролирующий комплекс по дисциплине «Электротехника». – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2011. С. 76-77.

Лабораторное занятие № 7
**Исследование цепи последовательного соединения
 конденсатора и активного сопротивления**

1. Цель занятия

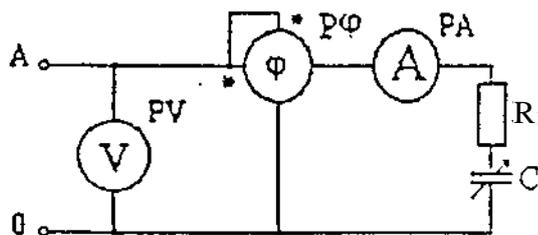
- 1.1. Получить практические навыки по измерению параметров электрической цепи переменного тока с помощью амперметра, вольтметра и фазометра.
- 1.2. Опытным путем определить полное, активное и реактивное сопротивление для цепи RC и вычислить емкость конденсатора.
- 1.3. Получить навыки для построения векторных диаграмм.

2. Выполнение работы

2.1. Электроизмерительные приборы, используемые в работе.

Наименование прибора	Заводской номер	Тип прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности
Амперметр					
Вольтметр					
Фазометр					

2.2. Электрическая схема опыта.



2.3. Результаты измерений.

Таблица 1

Емкость мкФ	Измерить			Вычислить										
	φ град.	I А	U В	Z Ом	R Ом	X_c Ом	U_a В	U_c В	S В А	Q_c Вар	P Вт	C мкФ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$
C1=10														
C2=20														

3. Расчетные формулы

3.1. Полное сопротивление цепи:

$$Z = \frac{U}{I}$$

3.3. Реактивное сопротивление:

$$X_c = Z \sin \varphi$$

3.5. Активную и реактивную составляющие напряжения:

$$U_a = IR$$

$$U_c = I \cdot X_c$$

3.6. Полную и реактивную мощность:

$$S = UI;$$

$$Q_c = U_c I.$$

3.2. Активное сопротивление:

$$R = Z \cos \varphi$$

3.4. Емкость конденсатора:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

Исследование параллельного соединения активных и реактивных элементов

1. Цель занятия

- 1.1. Изучить разветвленную цепь RLC переменного тока и опытным путем убедиться, что в цепи, имеющей индуктивный характер, ток отстает по фазе от напряжения, в цепи с емкостным характером ток опережает напряжение, а при $B_L = B_C$ ($I_L = I_C$), ток по фазе совпадает с напряжением ($\varphi = 0$).
- 1.2. Убедиться в справедливости 1-го закона Кирхгофа в геометрической форме.

2. Приборы и оборудование

Лабораторный стенд ЛЭС-5 (блок 5,6).

Катушка (1-2).

Измерительные приборы : вольтметр 150 В; амперметр 0,5 А , 1 А ; фазометр 5 А, 127 В.

3. Теоретическая часть

В электрической цепи с параллельным соединением элементов R, L, C возникает четыре тока:

- I – в неразветвленной части (общий ток),
- $I_1 = I_A$ – в ветви с резистором (активный ток),
- $I_2 = I_L$ – в ветви с индуктивностью,
- $I_3 = I_C$ – в ветви с емкостью.

Общий ток равен $I = \sqrt{I_A^2 + (I_L - I_C)^2}$. При этом элементы цепи оцениваются пара-

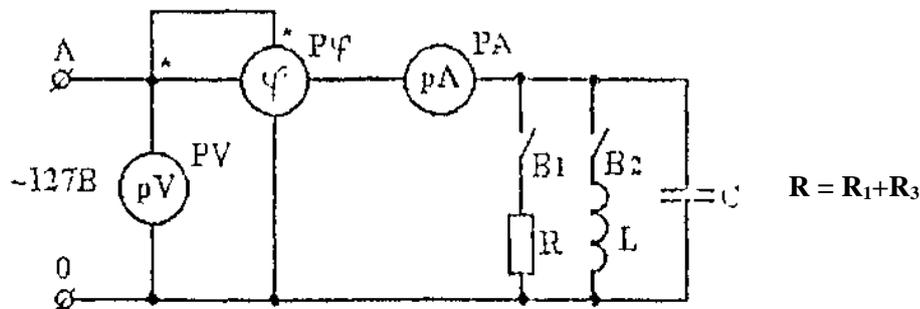
метром – проводимостью. Полная проводимость $Y = 1/Z = I/U = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}$, где G – активная проводимость $G = I_A/U = Y \cos \varphi$, B_L – индуктивная проводимость $B_L = I_L/U$, B_C – емкостная проводимость $B_C = I_C/U$. При разных соотношениях B_L и B_C ($B_L > B_C$, $B_L = B_C$, $B_L < B_C$) электрическая цепь имеет различный характер.

Если $B_L > B_C$ – индуктивный характер, общий ток отстает от напряжения на угол φ , т.е. $\varphi > 0$.

При $B_L < B_C$ – емкостный характер, общий ток опережает напряжение на угол φ , т.е. $\varphi < 0$.

При $B_L = B_C$ – активный характер, общий ток совпадает по фазе с напряжением, т.е. $\varphi = 0$.

4. Электрическая схема



5. Порядок выполнения работы

- 5.1. Ознакомиться с типами измерительных приборов и порядком их включения в цепь, записать их технические данные.
- 5.2. Собрать электрическую цепь и дать проверить ее преподавателю. Все выключатели ем-

костей (блок № 5), V_1 и V_2 (блок № 6) поставить в положение «выключено» (вниз).

- 5.3. Включить питание стенда и выключатель V_1 , измерить ток и угол сдвига фаз в цепи с R. Измерения занести в таблицу.
- 5.4. Включить выключатель V_2 (при этом V_1 выключить) и произвести аналогичные измерения п. 5.3.
- 5.5. При выключенных V_1 и V_2 с помощью выключателей блока № 5 установить емкость 10 мкФ и сделать замеры.
- 5.6. Включить выключатель V_1 и произвести измерения I и U (цепь RC).
- 5.7. Выключить тумблеры магазина емкостей. Включить V_2 , произвести измерения I и U (цепь RL).
- 5.8. Включить с помощью выключателей емкость 10 мкФ. V_1 и V_2 включены. Сделать замеры (цепь RLC).
- 5.9. Подбирая C_x включенной параллельно катушке и резистору, получить $\angle \varphi = 0$. Сделать замеры и записать значение C_x .

Таблица

№	В схеме включены	Измерить			Вычислить								
		U	I	φ	Y	G	B	I_A	I_P	S	P	Q	
		B	A	гр	см	см	см	A	A	ВА	Вт	Вар	
1	Резистор												
2	Катушка (1200)												
3	Конденсатор (10 мкФ)												
4	Параллельно резистор и конденсатор 10 мкФ)												
5	Параллельно резистор и катушка												
6	Параллельно R, L, C (10 мкФ)												
7	Параллельно R,L,C $C_x =$ ($B_L=B_C$)												

6. Расчетная часть

- 6.1. Полная проводимость $Y = I/U$.
- 6.2. Активная проводимость $G = Y \cos \varphi$.
- 6.3. Реактивная проводимость $B = Y \sin \varphi$.
- 6.4. Активная составляющая тока цепи $I_A = I \cos \varphi$.
- 6.5. Реактивная составляющая тока цепи $I_P = I \sin \varphi$.
- 6.6. Полная активная и реактивная мощность цепи: $S = UI$; $P = UI \cos \varphi$; $Q = UI \sin \varphi$.

7. Графическая часть

По данным измерений и расчетов построить в масштабе треугольники токов для опытов 4, 5, 6, 7.

8. Контрольные вопросы

- 8.1. Изобразите схему замещения реальной катушки с параллельным соединением элементов. Как выбрать Y и B?
- 8.2. Как найти ток в неразветвленной части цепи?
- 8.3. Начертить векторную диаграмму для п. 1.
- 8.4. Как рассчитать проводимость для параллельного соединения R и идеального C?
- 8.5. Начертить векторную диаграмму для п. 4.
- 8.6. Изобразите электрическую схему для цепи п. 4.

Литература

1. Зданевич Н.Н. Обучающий и контролирующий комплекс по дисциплине «Электротехни-

Исследование параллельного соединения активных и реактивных элементов

1. Цель занятия

- 1.1. Проверить опытным путем, что в цепи с индуктивностью ток отстает от напряжения, а в цепи с емкостью ток опережает напряжение.
- 1.2. При параллельном соединении индуктивности и емкости, когда $V_L = V_C$, ток в неразветвленной части цепи совпадает с напряжением.

2. Выполнение работы

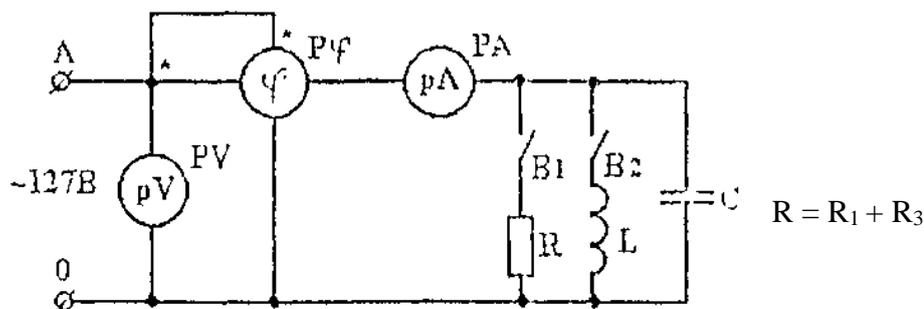
- 2.1. Заполнить таблицу.

Таблица 1

Электроизмерительные приборы

Наименование прибора	Заводской номер	Система прибора	Предел измерений	Цена деления	Класс точности

- 2.2. Электрическая схема измерений.



L – катушка на 1200 витков,
C – магазин емкостей 0 ÷ 34,75 мкФ

- 2.3. Заполнить таблицу.

Таблица 2

Результаты измерений

№	В схеме включены	Измерить			Рассчитать							
		U	I	φ	Y	G	B	I _A	I _P	S	P	Q
		В	А	гр.	см	см	см	А	А	ВА	Вт	Вар
1	Резистор R											
2	Катушка L											
3	Конденсатор C = 10 мкФ											
4	R параллельно L											
5	R параллельно C = 10 мкФ											
6	R параллельно L параллельно C = 10 мкФ											
7	R параллельно L параллельно C ($V_L = V_C$)											

3. Расчетные формулы:

$Y = I/U$; $G = Y \cos \varphi$; $B = Y \sin \varphi$; $I_A = U \cdot G$; $I_P = U \cdot B$.

4. Графическая часть

Построить графики треугольников токов для опытов 4-7.

5. Выводы по цели работы

Ответы на вопросы

- 1.1. Изучить неразветвленную цепь переменного тока и опытным путем убедиться, что при изменении емкости цепь имеет различный характер (индуктивный, активный, емкостной).
- 1.2. Исследовать резонанс напряжений, который наступает в цепи при $X_L = X_C$.
- 1.3. Построить векторные диаграммы и треугольники напряжений.

2. Приборы и оборудование

Лабораторный стенд ЛЭС-5.
 Амперметр с пределом измерения 0,5; 1 А.
 Катушка индуктивности 1200.
 Магазин емкости 0...34,75 мкФ.

3. Теоретическая часть

При изменении емкости цепь имеет различный характер:

- а) при $X_L > X_C$ имеет индуктивный характер, т.к. напряжение опережает ток на угол φ (φ – положительный);
- б) при $X_L = X_C$ цепь носит активный характер, т.к. напряжение и ток совпадают по фазе ($\varphi = 0$);
- в) при $X_L < X_C$ цепь носит емкостный характер, т.к. напряжение отстает от тока на угол φ (φ – отрицательный).

В последовательном контуре, при равенстве индуктивного и емкостного сопротивления и когда частота вынужденных колебаний источника равна частоте собственных колебаний контура, наступает резонанс напряжения $U_L = U_C$.

Резонанс напряжения приводит к тому, что в цепи проходит максимальный ток т.к. цепь имеет минимальное сопротивление $Z = R$. Отношение волнового сопротивления к активному оценивается добротностью контура:

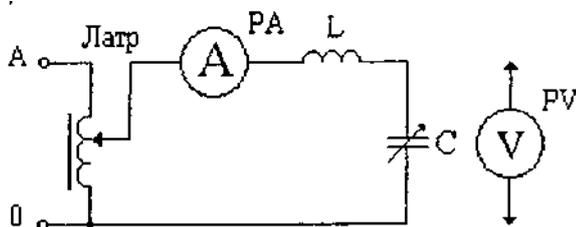
$$Q = \frac{Z_0}{R}.$$

Добротность показывает, во сколько раз напряжение на индуктивности и емкости превышает входное напряжение:

$$\frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = Q.$$

Резонансное явление наступает в цепи переменного синусоидального тока при наличии индуктивности и емкости, когда на входе цепи напряжение и ток совпадают по фазе.

4. Электрическая схема



5. Порядок выполнения работы

- 5.1. Ознакомиться с типами электроизмерительных приборов и порядком их включения в электрической цепи.
- 5.2. Записать технические данные используемых приборов в таблицу, предусмотренную отчетом по лабораторной работе.
- 5.3. Собрать электрическую цепь. В магазине емкостей набрать емкость 10 мкФ, включить питание электрической цепи и снять показания приборов. Результаты занести в таблицу.

Таблица

№	С	Измерить	Рассчитать
---	---	----------	------------

п/п	мкФ	I	U	U _c	U _k	Z	R _k	Z _k	X _L	X _c	U _a	U _L	cosφ	φ	S	P	Q
		А	В	В	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	В	В	--	гр.	ВА	Вт	Вар
1	10		20														
2	Срез		20														
3	28		20														

- 5.4. Увеличивая емкость добиться максимального значения тока, измеряемого амперметром. Записать значение этой емкости Срез, и показания приборов в таблицу.
- 5.5. В магазине емкостей набрать емкость $C = 28$ мкФ, снять показания всех приборов и записать результаты измерений в таблицу.
- 5.6. Выключить питание электрической цепи и результаты измерений показать преподавателю.

6. Расчетная часть

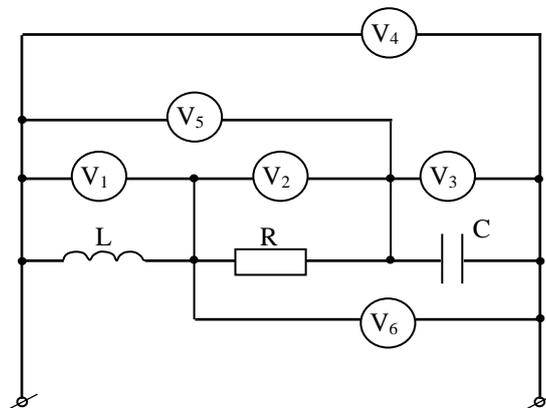
По результатам измерений таблицы 1 вычислить: $Z = \frac{U}{I}$, активным сопротивлением конденсатора пренебрегаем и поэтому активное сопротивление катушки равно:
R_k = R = Z_{срез}.

$$Z_k = \frac{U_k}{I}; \quad X_L = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}; \quad X_c = \frac{U_c}{I}; \quad U_a = U \cos \varphi = IR_k; \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z};$$

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_c}{R}; \quad S = UI; \quad \text{Spез} = U_a I; \quad Q = S \sin \varphi.$$

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Что называется резонансом напряжения?
- 7.2. Как найти полное сопротивление цепи RLC?
- 7.3. Какие особенности сопротивления цепи при резонансе напряжения?
- 7.6. Что называется добротностью контура?
- 7.4. Каким образом можно определить на опыте состояние резонанса напряжений?
- 7.5. Цепь переменного тока находится в режиме резонанса. Какие два вольтметра электромагнитной системы покажут одинаковые значения напряжений (см. схему)?
- 7.6. При резонансе напряжений в цепи обязательно соблюдаются следующие соотношения:
а) $z = R$, б) $\cos \varphi = 1$, в) $Q_L - Q_C = 0$, г) $Z_B = \sqrt{L/C}$, д) $U_L > U$, е) $S = P$, ж) $\omega L = 1/\omega C$,
и) $U_a = U$, к) $Q = Z_B / R$, л) I – максимальное.
- 7.7. Определить индуктивность катушки, которую нужно включить последовательно с конденсатором $C = 24$ мкФ, чтобы в цепи с частотой $f = 50$ Гц получить резонанс.



Литература

1. Зданевич Н.Н. Обучающий и контролирующий комплекс по дисциплине «Электротехника». – Ростов на/Д: РГКРИПТ, 2006. С. 99-104.

Лаборатория «Электротехника»	
Лабораторное занятие № 9	
Исследование электрической цепи с последовательным соединением RLC. Резонанс напряжений	

1. Цель занятия

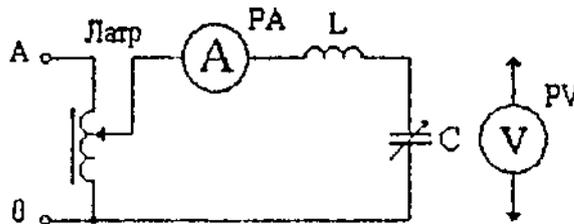
- 1.1. Изучить неразветвленную цепь переменного тока и опытным путем убедиться, что при изменении емкости цепь имеет различный характер (индуктивный, активный, емкостный).
- 1.2. Исследовать резонанс напряжений, который наступает в цепи при $X_L = X_C$.
- 1.3. Построить векторные диаграммы и треугольники напряжений.

2. Выполнение работы

2.1. Электроизмерительные приборы, используемые в работе.

Наименование прибора	Заводской номер	Тип прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности
Амперметр					
Вольтметр					

2.2. Электрическая схема опыта.



2.3. Результаты измерений.

Таблица

№ п/п	С мкФ	Измерить				Рассчитать											
		I	U	U _C	U _k	Z	R _k	Z _k	X _L	X _C	U _a	U _L	cosφ	φ	S	P	Q
		А	В	В	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	В	В	--	гр.	ВА	Вт	Вар
1	10		20														
2	Срез		20														
3	28		20														

3. Расчетные формулы

По результатам измерений таблицы 1 вычислить: $Z = \frac{U}{I}$, активным сопротивлением конденсатора пренебрегаем и поэтому активное сопротивление катушки равно $R_k = R = Z_{рез}$.

$$Z_k = \frac{U_k}{I}; \quad X_L = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}; \quad X_C = \frac{U_C}{I}; \quad U_a = U \cos \varphi = IR_k; \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z};$$

$$\varphi = \arccos \varphi; \quad S = UI; \quad P = U_a I; \quad Q = S \sin \varphi.$$

7. Выводы

- 7.1. Какой характер цепи наступает при различных значениях емкости? Нарисуйте векторные диаграммы.
- 7.2. Каким образом можно достичь резонанса напряжения?
- 7.3. Чему равен угол φ при резонансе?
- 7.4. Что определяет добротность контура?
- 7.5. Дано: I = 2 А, P = 10 Вт, L = 1,69 Гн, f = 50 Гц. Определить емкость конденсатора, необходимую для получения резонанса, и добротность цепи (см. схему на с. 54).

Лабораторное занятие № 10
**Исследование электрической цепи
с параллельным соединением RLC. Резонанс токов**

1. Цель занятия

- 1.1. Изучить разветвленную цепь переменного тока и опытным путем убедиться, что при изменении емкости цепи цепь имеет различный характер (индуктивный, активный, емкостный).
- 1.2. Исследовать резонанс токов, который наступает в цепи при равенстве B_L и B_C .
- 1.3. Построить треугольники токов.

2. Приборы и оборудование

Лабораторный стенд ЛЭС-5.
Амперметры – 0,25, 1А.
Вольтметр – 150 В.
Магазин емкости – 0... 34,75 мкФ.
Катушка индуктивности – 1200.

3. Теоретическая часть

При параллельном соединении катушки индуктивности и емкости цепь может иметь различный характер.

Индуктивный характер. В этом случае напряжение на выходе опережает общий ток и реактивно-индуктивная проводимость больше реактивно-емкостной ($B_L > B_C$).

Емкостный характер. В этом случае общий ток опережает напряжение и реактивно-емкостная проводимость больше реактивно-индуктивной ($B_L < B_C$).

Активный характер. В этом случае напряжение и общий ток совпадают по фазе. При этом реактивно-индуктивная проводимость равна реактивно-емкостной проводимости ($B_L = B_C$).

Резонансное явление наступает в цепи синусоидального переменного тока при наличии емкости и индуктивности, когда на входе цепи напряжение и ток совпадают по фазе. В параллельном контуре при равенстве индуктивной и емкостной проводимостей наступает резонанс токов. При резонансе токов частота вынужденных колебаний (частота источника) равна частоте собственных колебаний ($\omega = \omega_0$):

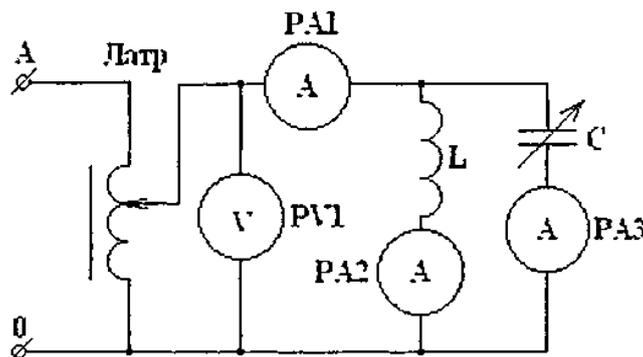
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Резонанс токов приводит к тому, что общий ток минимален и равен активному току ($I = I_a$), так как полная проводимость минимальна и равна активной: $Y = 1/Z = \min$.

Токи на индуктивности и емкости равны между собой и превышают общий ток. Это превышение оценивается добротностью контура. **Добротность контура показывает, во сколько раз токи на индуктивности и емкости превышают общий ток.** Добротность контура Q – это отношение волновой проводимости к активной:

$$Q = \frac{Y_B}{G}; \quad \frac{I_L}{I} = \frac{I_C}{I} = Q.$$

4. Электрическая схема



5. Порядок выполнения работы

- 5.1. Ознакомиться с типами электроизмерительных приборов и порядком их включения в электрическую цепь.
- 5.2. Записать технические данные используемых приборов в таблицу, предусмотренную отчетом по лабораторной работе.
- 5.3. Собрать электрическую цепь. В магазине емкостей набрать емкость 10 мкФ, включить питание электрической цепи и снять показания приборов. Результаты занести в таблицу.
- 5.4. Увеличивая емкость, добиться минимального значения тока, измеряемого амперметром РА1. Записать значение этой емкости $C_{рез}$ и показания приборов в таблицу.
- 5.5. В магазине емкостей набрать емкость 28 мкФ, снять показания всех приборов и записать в таблицу.
- 5.6. Отключить питание электрической цепи и результаты показать преподавателю. С разрешения преподавателя разобрать электрическую цепь и приступить к расчету.

Таблица

№ п/п	С мкФ	Измерить				Рассчитать												
		U	I	I _к	I _с	Y	Y _к	G _к	B _L	B _с	I _a	I _p	cosφ	φ	S	P	Q	
		В	А	А	А	см	см	см	см	см	А	А	--	гр.	ВА	Вт	Вар	
1	10	100																
2	$C_{рез} =$	100																
3	28	100																

6. Расчетная часть

Полная проводимость цепи:

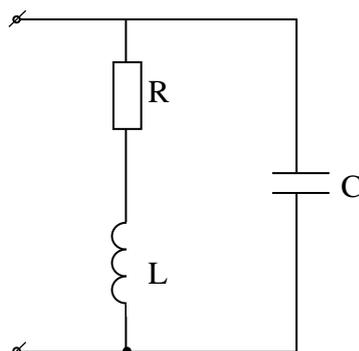
$$Y = \frac{I}{U}; \quad Y_k = \frac{I_k}{U}.$$

Активной проводимостью конденсатора пренебрегаем и поэтому активная проводимость катушки равна: $G_k = G = Y_{рез}$.

$$B_L = \sqrt{Y_k^2 - G^2}; \quad B_C = \frac{I_C}{U}; \quad I_a = UG; \quad I_p = U(B_L - B_C); \quad \cos \varphi = \frac{G}{Y}; \quad S = IU; \quad S_{рез} = I_a U; \quad Q = I_p U$$

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Что называется резонансом токов?
- 7.2. Как найти полную проводимость?
- 7.3. Каковы характерные особенности проводимости цепи при резонансе токов?
- 7.4. Чему равен угол φ при резонансе токов?
- 7.5. Что называется добротностью контура?
- 7.6. Запишите формулу волновой проводимости цепи.
- 7.7. Какова особенность токов в ветвях при резонансе токов?
- 7.8. Какой вид имеют резонансные кривые?
- 7.9. Что такое добротность контура и как она влияет на форму резонансных кривых?
- 7.10. Дано: $R = X_L = 10 \text{ Ом}$, $X_C = 20 \text{ Ом}$, $U = 100 \text{ В}$. Определить силу тока в неразветвленной части цепи (см. схему).



Лаборатория «Электротехника»	
Лабораторное занятие № 10 Исследование электрической цепи с параллельным соединением RLC. Резонанс токов	

1. Цель занятия

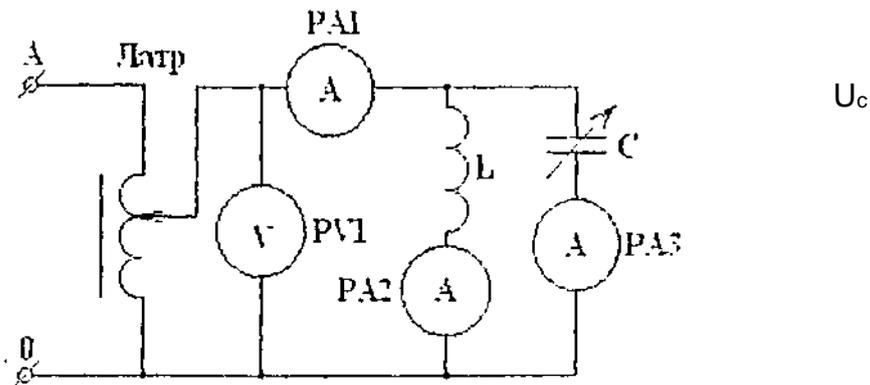
- 1.1. Изучить разветвленную цепь переменного тока и опытным путем убедиться, что при изменении емкости цепи цепь имеет различный характер (индуктивный, активный, емкостный).
- 1.2. Исследовать резонанс токов, который наступает в цепи при равенстве B_L и B_C .
- 1.3. Построить треугольники токов.

2. Выполнение работы

2.1. Таблица используемых электрических измерительных приборов и оборудования.

Наименование прибора	Заводской номер	Тип прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности
Амперметр					
Вольтметр					

2.2. Схема опыта.



2.3. Таблица результатов.

№ п/п	С мкФ	Измерить				Рассчитать												
		U В	I А	I _к А	I _с А	Y см	Y _к см	G _к см	B _L см	B _с см	I _а А	I _р А	cosφ	φ гр.	S ВА	P Вт	Q Вар	
1	10	100																
2	Срез=	100																
3	28	100																

2.4. Расчетные формулы:

$$Y = \frac{I}{U}; \quad \text{Ошибка! Ошибка связи.} \quad G_k = G = Y_{рез}; \quad B_L = \sqrt{Y_k^2 - G_k^2}; \quad B_C = \frac{I_C}{U}; \quad I_a = UG;$$

$$I_p = U(B_L - B_C); \quad \cos \varphi = \frac{G}{Y}; \quad S = IU; \quad P = I_a U; \quad Q = I_p U.$$

3. Выводы

- 3.1. Какой характер цепи наступает при различных значениях емкости? Нарисуйте векторные диаграммы
- 3.2. Как найти полную проводимость?
- 3.3. Каким образом можно достичь резонанса токов?
- 3.4. Что определяет добротность контура?
- 3.5. При резонансе токов в цепи из двух параллельных ветвей обязательно выполняются следующие соотношения: а) $\varphi = 0$, б) $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$, в) $b_L = b_C$, г) $I = Ug$, д) $S = P$, е) $Q = y_B/g$, ж) $I = I_{мин}$, и) $Q = 0$, к) $y_B = \sqrt{C/L}$, л) $I_c > I$.

Исследование цепи с последовательным соединением индуктивно связанных катушек

1. Цель занятия

- 1.1. Опытным путем определить взаимную индуктивность катушек.
- 1.2. Определить одноименные концы катушек и обозначить их на схеме.
- 1.3. Собрать схему линейного трансформатора и определить взаимную индуктивность.

2. Приборы и оборудование

- Лабораторный стенд ЛЭС-5 (блок 5-6).
- Измерительные приборы:

 - амперметр – 1 А.
 - вольтметр – 150 В.
 - ваттметр – 150 В, 1 А.
 - катушка индуктивности – L1 = 220, L2 = 1200.

3. Теоретическая часть

Элементы электрической цепи могут быть связаны между собой общим магнитным полем и тогда изменение I в одном из элементов является причиной наведения ЭДС в другом элементе. Такое взаимное магнитное влияние элементов цепи называется индуктивной связью. Величина, характеризующая магнитную связь между катушками, называется взаимной индуктивностью M, которая приводит к появлению реактивного взаимоиндуктивного сопротивления – X_M.

Особенностью согласного включения двух катушек является сложение магнитных потоков этих катушек и увеличение общего реактивного сопротивления за счет сложения индуктивного сопротивления этих катушек со взаимоиндуктивным сопротивлением:

$$X_C = X_{L1} + X_{L2} + 2X_M.$$

Особенностью встречного включения является вычитание величин магнитных потоков двух катушек. Это приводит к уменьшению общего реактивного сопротивления на величину 2X_M:

$$X_B = X_{L1} + X_{L2} - 2X_M.$$

Для определения одноименных концов катушек надо учесть, что Z_C > Z_B, поэтому I_C < I_B.

Причиной появления напряжения во второй катушке в схеме линейного трансформатора является ток первой катушки, который создает изменяющееся взаимное потокоцепление второй катушки, следовательно, ЭДС взаимоиндукции.

4. Электрическая схема.

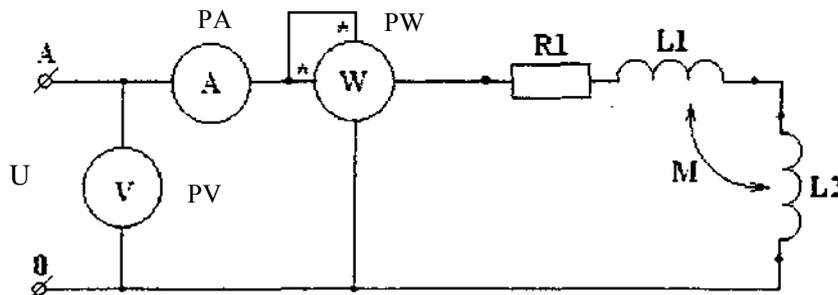


Рис. 1

Таблица 1

Вид соединения	Измерить			Вычислить				
	U, В	I, А	P, Вт	Z, Ом	R, Ом	X, Ом	X _M , Ом	M, Гн

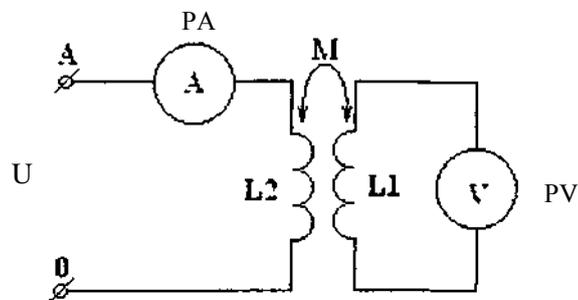


Рис. 2. Схема линейного трансформатора

Таблица 2

I_1, A	U_2, B	$M, Гн$	Примечания
			разомкнут сердечник
			замкнут сердечник

5. Порядок выполнения работы

- 5.1. Ознакомиться с типами измерительных приборов и порядком их включения, поставить на приборах необходимые пределы измерения.
- 5.2. В форму, предусмотренную отчетом, записать технические данные используемых приборов.
- 5.3. Собрать электрическую цепь (рис. 1) и показать ее преподавателю.
- 5.4. Включить схему и записать показания всех приборов в табл. 1.
- 5.5. Выключить схему и поменять зажимы катушки L2, включить схему и повторить замеры.
- 5.6. Сделать вывод о соединении катушек по значению первых двух опытов.
- 5.7. Отметить одноименные концы катушек L1 и L2 (*) согласно п. 5.6.
- 5.8. Собрать схему линейного трансформатора.
- 5.9. Включить схему и записать показания приборов.
- 5.10. Заполнить табл. 2.

6. Расчетная часть

- 6.1. Вычислить величины.

6.1.1. Полное сопротивление цепи: $Z = \frac{U}{I}$.

6.1.2. Активное сопротивление: $R = \frac{P}{I^2}$.

6.1.3. Реактивное сопротивление: $X = \sqrt{Z^2 - R^2}$.

6.1.4. Взаимную индуктивность: $M = \frac{X}{2\pi f}$.

- 6.1.5. Реактивное взаимноиндуктивное сопротивление двух последовательно соединенных катушек: $X_M = \frac{X_C - X_B}{4}$.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Что такое индуктивно связанная цепь?
- 7.2. Что такое встречное и согласное включение катушек?
- 7.3. Как определить одноименные зажимы?
- 7.4. В чем заключается явление взаимоиндукции?
- 7.5. Что такое индуктивность и от чего она зависит?
- 7.6. Что такое взаимная индуктивность и от чего она зависит?
- 7.7. Две индуктивно-связанные катушки соединены последовательно. Определить ток в цепи, если $U = 127 B$, $wL1 = 3 Ом$, $wL2 = 2 Ом$, $wM = 1,5 Ом$, $R1 = 4 Ом$, $R2 = 2 Ом$.
- 7.8. Определить взаимную индуктивность двух катушек, если известно, что $L1 = 0,1 Г$, $L2 = 0,4 Г$, $K = 0,8$.

Литература:

1. Зданевич Н.Н. Обучающий и контролирующий комплекс по дисциплине «Электротехника». – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2011. С. 94-96.

Исследование цепи с последовательным соединением индуктивно связанных катушек

1. Цель занятия

- 1.1. Опытным путем определить взаимную индуктивность катушек.
- 1.2. Определить одноименные концы катушек и обозначить их на схеме.
- 1.3. Собрать схему линейного трансформатора и определить взаимную индуктивность.

2. Выполнение работы

2.1. Таблица используемых электрических измерительных приборов и оборудования.

Наименование прибора	Заводской номер	Тип прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности
Амперметр					
Вольтметр					
Ваттметр					

2.2. Схемы опытов.

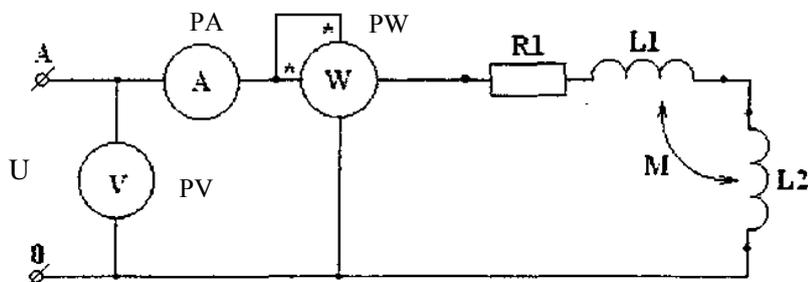


Рис. 1

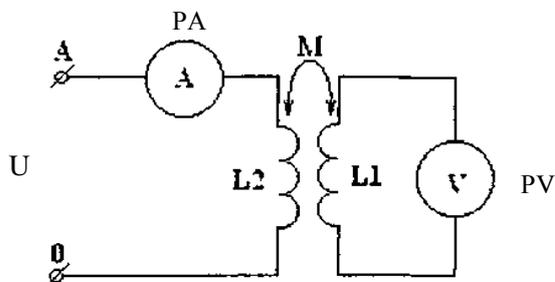


Рис. 2. Схема линейного трансформатора

2.3. Таблицы результатов.

Таблица 1

Вид соединения	Измерить			Вычислить				
	U, В	I, А	P, Вт	Z, Ом	R, Ом	X, Ом	X _М , Ом	M, Гн

Таблица 2

I ₁ , А	U ₂ , В	M, Гн	Примечания
			разомкнут сердечник
			замкнут сердечник

2.4. Расчетные формулы: $Z = \frac{U}{I}$; **Ошибка! Ошибка связи.Ошибка! Ошибка связи.**

$$X_M = \frac{(X_C - X_B)}{4}; M = \frac{X_M}{2\pi f};$$

f = 50 Гц.

3. Выводы

- 3.1. Что определяет величина M, X_M?
- 3.2. Как определить согласное и встречное включение катушек?
- 3.3. Объяснить появление V₂ при подключении L₂ к U (рис. 2).
- 3.4. Как отличаются показания амперметра при согласном и встречном включении и почему?
- 3.5. Как найти общее реактивное сопротивление цепи при согласном и встречном включении катушек?
- 3.6. Как измерить взаимную индуктивность методом согласного и встречного включения?
- 3.7. Как измерить взаимную индуктивность в схеме 1 и в схеме 2?
- 3.8. Определить индуктивность второй катушки, если M = 40 мГн, K = 0,6, L1 = 60 мГн.
- 3.9. Как найти комплекс общего сопротивления цепи, состоящий из двух катушек, включенных последовательно и встречно?
- 3.10. Как записать формулу комплекса общего напряжения двух катушек, если ток входит в разноименные концы катушек?
- 3.11. Найти комплекс общего напряжения, если ток входит в одноименные концы катушек и его комплекс равен 10+j20. Известно, комплекс полного сопротивления первой катушки 5+j7, второй 8+j4, X_M = 5 Ом.

Лабораторное занятие № 12
Исследование трехфазной электрической цепи

1. Цель занятия

- 1.1. Исследование трехфазных симметричных цепей.
- 1.2. Установить соотношения между линейными и фазными напряжениями и токами при соединении приемника «звездой».
- 1.3. Установить соотношения между линейными и фазными напряжениями и токами при соединении приемника «треугольником».
- 1.4. Получить навыки в построении векторных диаграмм.

2. Приборы и оборудование

Лабораторный стенд ЛЭС-5.

Измерительные приборы: амперметры с пределами измерения 1 А; вольтметр с пределом измерения 150 В, 300 В.

3. Теоретическая часть

Система трех однофазных цепей, в которых действует ЭДС одной и той же частоты, сдвинутых по фазе на угол 120° , называется трехфазной электрической цепью. Трехфазный потребитель может соединяться по схеме «звезда» (рис. 1), когда концы трех фаз соединяются в одну нулевую точку. При симметричной нагрузке, когда сопротивление фаз одинаково, линейное напряжение $U_{л}$ больше фазного $U_{ф}$ в $\sqrt{3}$ раз: $U_{л} = \sqrt{3} \cdot U_{ф}$. Ток фазный равен току линейному: $I_{ф} = I_{л}$. Токи каждой фазы одинаковы.

Трехфазный потребитель может соединяться по схеме «треугольник» (рис. 2). При соединении «треугольник» фазовые напряжения равны линейным $U_{ф} = U_{л}$. В фазах проходят фазные токи: I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} ; в линейных проводах проходят линейные токи $I_A, I_B, I_C, I_{л} = \sqrt{3} \cdot I_{ф}$ – линейный ток больше фазного в $\sqrt{3}$ раз.

Каждая фаза потребляет активную мощность: $P_{ф} = U_{ф} \cdot I_{ф} \cdot \cos \varphi$, активная мощность всего потребителя: $P = \sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot I_{л} \cdot \cos \varphi$.

4. Схема электрическая

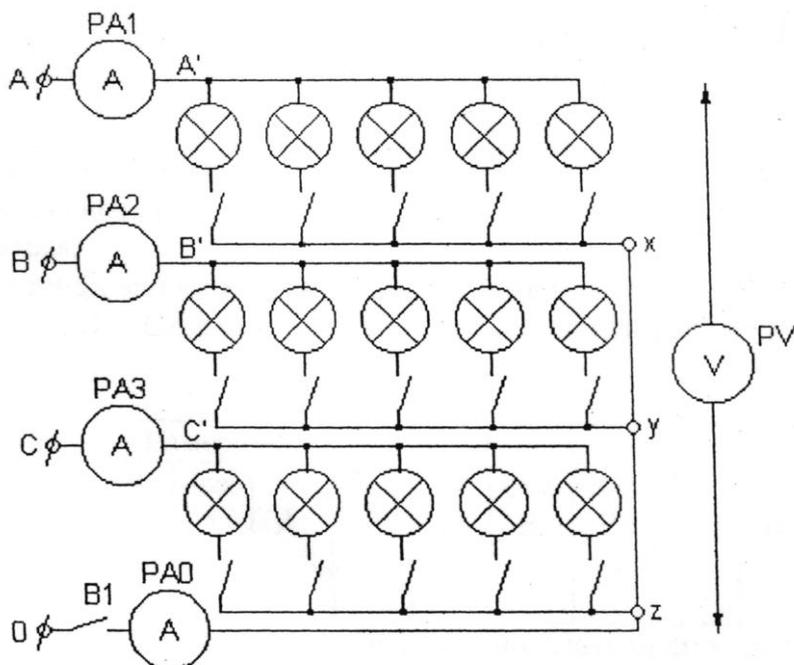


Рис. 1

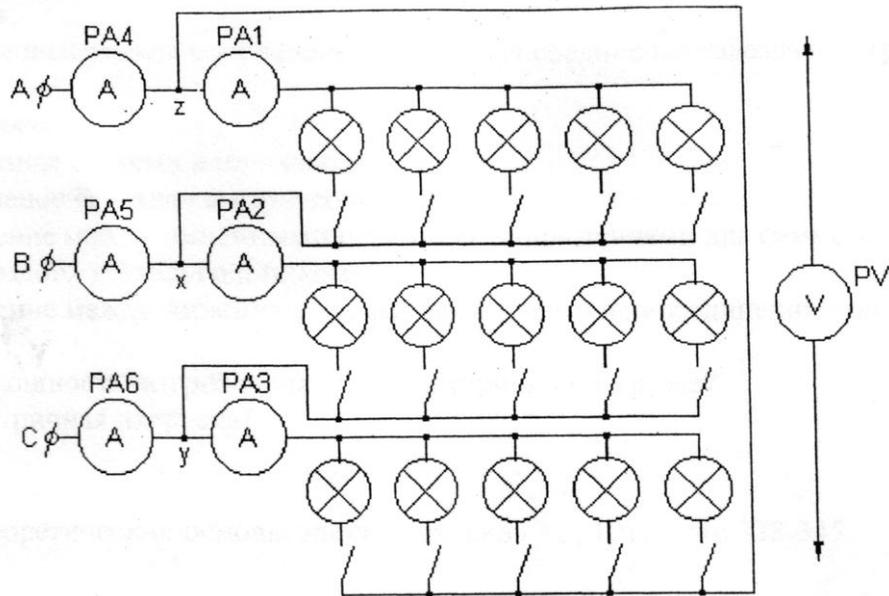


Рис. 2

5. Выполнение работы

- 5.1. Ознакомиться с типами электроизмерительных приборов и порядком их включения в цепь и записать их технические данные.
- 5.2. Собрать электрическую цепь (рис. 1) и пригласить для проверки преподавателя.
- 5.3. Включить выключатели ламповых реостатов (по 5 ламп в каждой фазе) и питание стенда.
- 5.4. Включить выключатель В1 (нулевой провод).
- 5.5. Подключая вольтметр поочередно к клеммам ламповых реостатов АВ, ВС и СА, измерить линейные напряжения.
- 5.6. Выключить выключатель В1 (симметричная нагрузка без нулевого провода) и проанализировать показания приборов.

Таблица 1

№ опыта	Характер нагрузки	Состояние эл. цепи	Измерить									Вычислить												
			I_A А	I_B А	I_C А	I_0 А	U_A В	U_B В	U_C В	U_{AB} В	U_{BC} В	U_{CA} В	U_0 В	R_A Ом	R_B Ом	R_C Ом	P_A Вт	P_B Вт	P_C Вт	P Вт	$\frac{U_{AB}}{U_A}$	$\frac{U_{BC}}{U_B}$	$\frac{U_{CA}}{U_C}$	
1	$R_A = R_B = R_C$	В1 вкл.																						
2	$R_A = R_B = R_C$	В1 выкл.																						

- 5.7. Выключить питание стенда. Результаты измерения показать преподавателю, разобрать схему.
- 5.8. Собрать электрическую цепь в соответствии с рис. 2, и пригласить для проверки электрической цепи преподавателя.
- 5.9. Включить питание стенда, записать показания приборов в табл. 2, и, подключая вольтметр поочередно к клеммам АХ, ВУ, СЗ ламповых реостатов, измерить фазные напряжения нагрузки.
- 5.10. Выключить питание стенда. Результаты измерения показать преподавателю, разобрать схему.

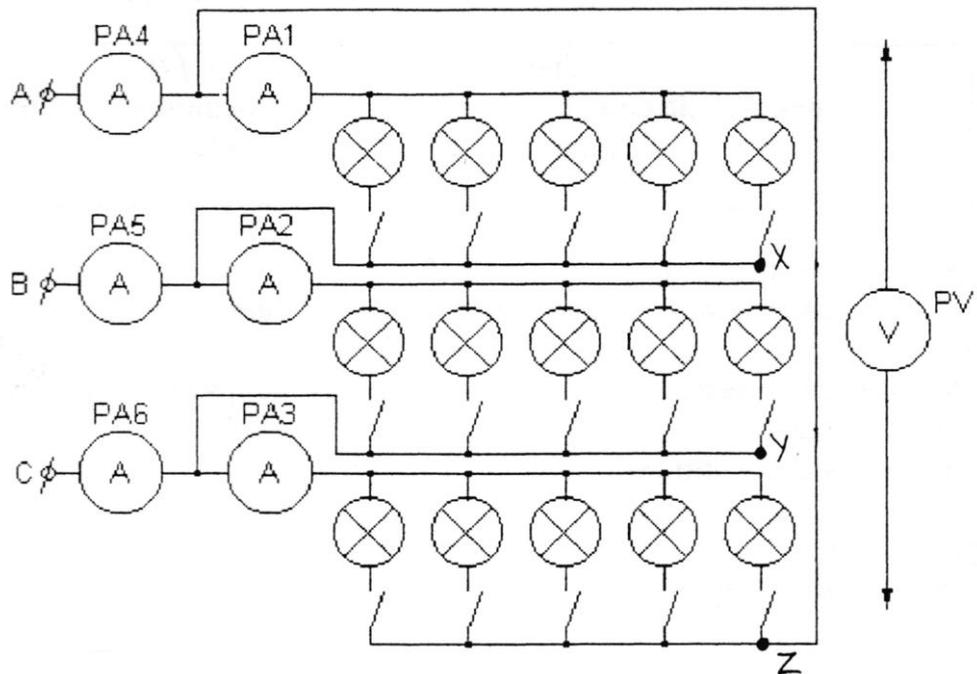


Рис. 2

Таблица 2

Характер нагрузки	Измерить									Вычислить						
	I_A А	I_B А	I_C А	I_{AB} А	I_{BC} А	I_{CA} А	U_{AB} В	U_{BC} В	U_{CA} В	P_{AB} Вт	P_{BC} Вт	P_{CA} Вт	P Вт	$\frac{I_A}{I_{AB}}$	$\frac{I_B}{I_{BC}}$	$\frac{I_C}{I_{CA}}$
$R_{AB}=R_{BC}=R_{CA}$																

2.3. Расчетные формулы.

$$P\phi = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \phi_\phi; \quad \cos \phi_\phi = 1; \quad R_\phi = \frac{U_\phi}{I_\phi}; \quad P = P_A + P_B + P_C.$$

3. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для соединения «звезда» и «треугольник»

Исследование переходных процессов в простейших RC цепях

1. Цель работы: Изучение процесса заряда и разряда конденсатора.

2. Приборы и оборудование:

- платформа NI ELVIS II;
- Наборное поле с комплектом элементов – резистор $R = 1 \text{ кОм} \cdot 2 \text{ шт.}$ и конденсатор $C = 0,01 \text{ мкФ} - 2 \text{ шт.}$
- ПК.

3. Теоретическая часть

Если подключить конденсатор к источнику постоянного тока (перевести переключатель П в положение 1), то в цепи возникнет кратковременный импульс тока, который зарядит конденсатор до напряжения источника, после чего ток перестанет течь. Если заряженный конденсатор отключить от источника постоянного тока и соединить его обкладки с выводами сопротивления (перевести переключатель П на схеме (рис. 1) в положение 2), то конденсатор будет разряжаться. Процесс заряда и разряда конденсатора практически можно считать законченным за время:

$$t = (4...5) \tau = (4...5) R * C,$$

где τ - величина, называемая **постоянной времени**, представляет собой произведение RC и измеряется в секундах: $\tau = RC$

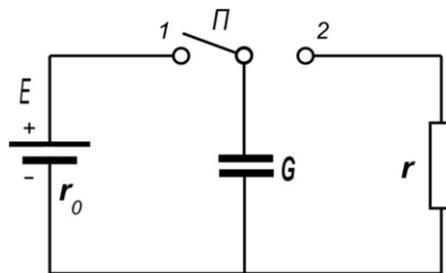


Рис. 1. Схема заряда и разряда конденсатора

Изменение напряжения на конденсаторе:

- при заряде определяется следующей формулой: $U_c = U_0(1 - e^{-t/\tau})$ – **увеличивается по экспоненте**, (рис. 2),
- при разряде конденсатора $U_c = U_0 e^{-t/\tau}$ – **уменьшается по экспоненте** (рис. 3).

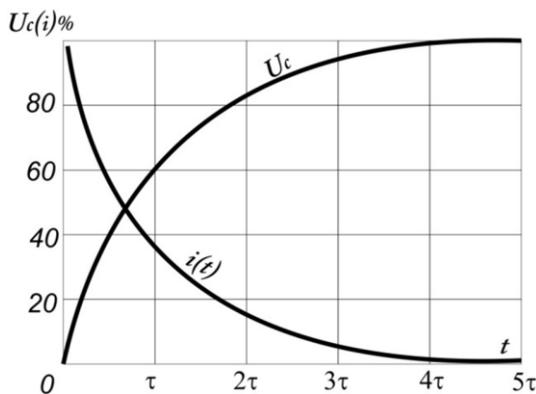


Рис. 2. График изменения тока и напряжения на зажимах конденсатора при его заряде

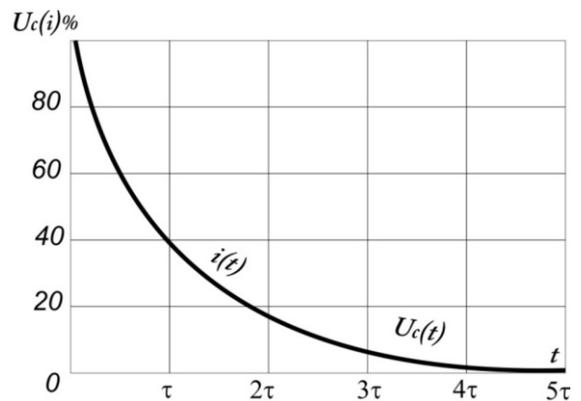


Рис. 3. График изменения тока и напряжения на зажимах конденсатора при его разряде

4. Порядок выполнения работы.

Для выполнения лабораторной работы необходимо выбрать в меню строку «Процесс заряда и разряда конденсатора». Надо зарядить и разрядить конденсатор от источника прямоугольного сигнала, посмотреть на экране осциллографа график изменения напряжения на зажимах конденсатора при заряде и разряде при различных значениях емкости конденсатора и величин сопротивления. Принципиальная электрическая схема для наблюдения за процессами заряда и разряда конденсатора изображена на рис. 4.

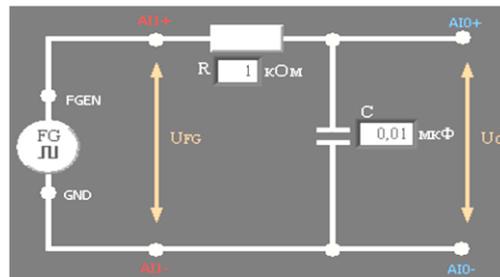


Рис. 4

В правом нижнем углу открывшейся лицевой панели представлены подробные инструкции по выполнению.

4.1. Соберите на макетной плате схему (рис.5), используя сопротивление резистора $R = 1 \text{ кОм}$ и емкость конденсатора $C = 0,01 \text{ мкФ}$.

Выходные параметры функционального генератора: прямоугольное напряжение $U_m = 1\text{В}$ и частота $f = 5 \text{ кГц}$

4.2. Нажмите «Старт».

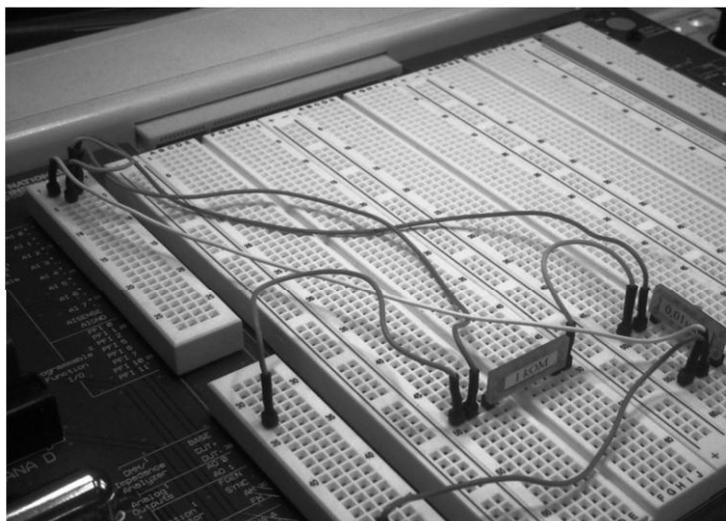


Рис. 5

4.3. Нажмите «Измерить».

4.5. Наблюдайте процессы заряда и разряда конденсатора на экране осциллографа (кривая заряда и разряда показана голубым цветом, а сигнал генератора – красным) (рис. 6).

4.6. При помощи курсоров измерьте на графике величину времени переходного процесса для данной цепи и сравните с расчетной величиной. Для этого совместите один курсор с положительным фронтом входного сигнала (красный график), а другой установите на отметке примерно 90 % от максимального значения напряжения на конденсаторе (голубой график).

4.7. Следующие опыты сделать аналогично, меняя величины емкости конденсатора и сопротивления (см. табл.).

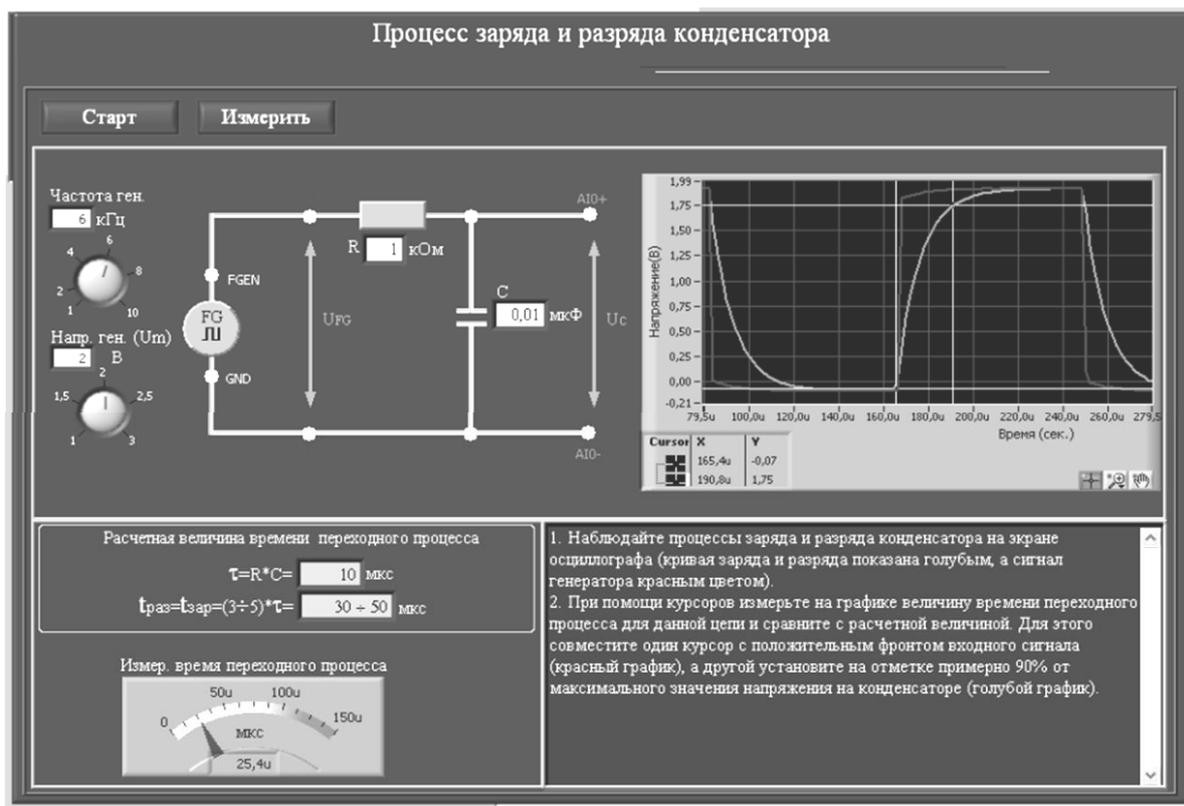


Рис. 6

На рис. 7 приведена зависимость напряжения на обкладках конденсатора для различных моментов времени при его зарядке и разрядке. Прямоугольные импульсы от генератора импульсов (FG) поступают на сопротивление $R1$. В момент времени t_1 конденсатор начинает заряжаться через сопротивление $R1$, напряжение в цепи увеличивается от нуля до U_0 по экспоненциальному закону, согласно выражению $U_c = U_0 (1 - e^{-t/\tau})$. В момент времени t_2 импульс заканчивается, напряжение на входе схемы равно нулю, и конденсатор начинает разряжаться через сопротивление $R = R1 + R2$, при этом напряжение на обкладках конденсатора уменьшается по экспоненциальному закону согласно выражению $U_c = U_0 e^{-t/\tau}$.

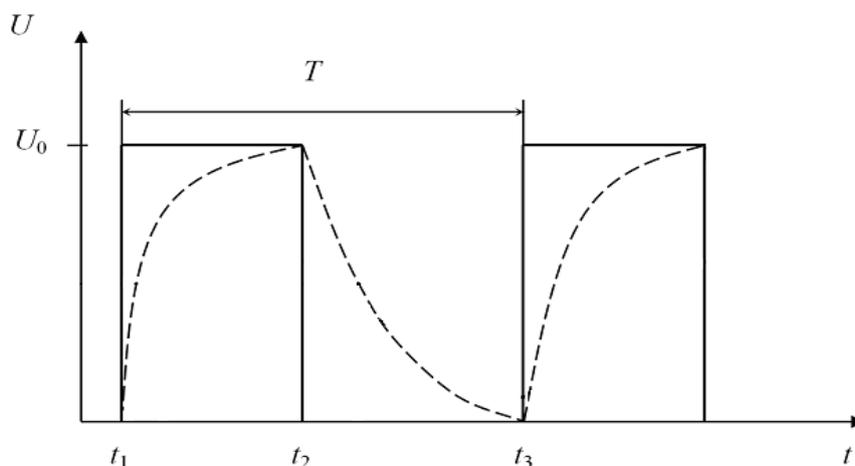


Рис. 7

В момент времени t_3 от генератора импульсов поступает новый импульс и процессы заряда и разряда повторяются.

Исследование переходных процессов в простейших RC цепях

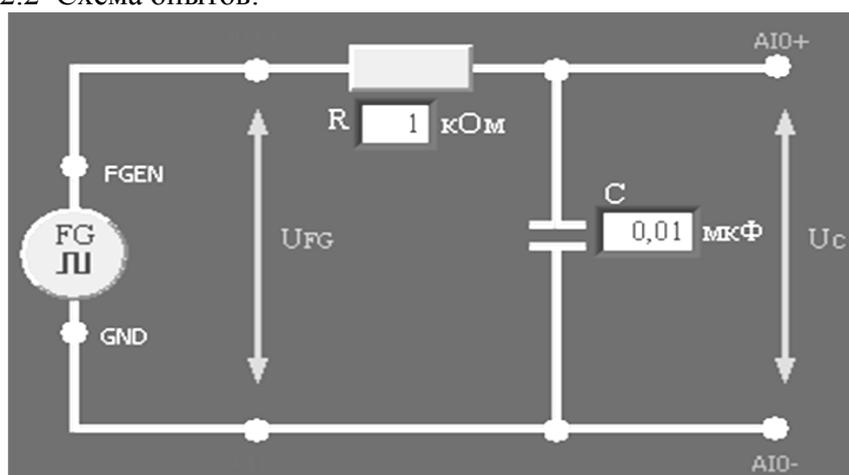
1. Цель работы: Изучение процесса заряда и разряда конденсатора.

2. Выполнение работы:

2.1 Перечень используемого оборудования:

- платформа NI ELVIS II;
- Наборное поле с комплектом элементов: резистор $R = 1 \text{ кОм}$ – 2 шт. и конденсатор $C = 0,01 \text{ мкФ}$ – 2 шт.;
- ПК.

2.2 Схема опытов:



2.3 Таблица результатов

№	C нФ	R кОм	$\tau_{\text{теор}}$ мкс	$\tau_{\text{пр}}$ мкс	
1	10	2			
2	20	2			
3	10	1			

Расчетная формула : $\tau = RC$

3. Выводы:

- 3.1. От чего зависит длительность переходного процесса?
- 3.2. Как на скорость изменения U_c влияют величины R , C ?
- 3.3. От чего зависит τ и как она определяется?
- 3.4 Сформулируйте закон коммутации для цепи с ёмкостью.

