

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»**

**ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ, ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ  
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ

Направления подготовки студентов направления 210700.62

«Инфокоммуникационные технологии и системы связи» очного отделения и  
других специальностей.

Томск 2011

**Правила подготовки, выполнения и оформление лабораторной работы:** метод. указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» очного отделения / сост. Б. Ф. Голев, В. Д. Дмитриев, К. Ю. Дубовик, И. В. Мельникова, ТУСУР. Томск, 2011.

В методических указаниях приведены требования по оформлению и содержанию лабораторной работы, подробно описана ее структура. Также описаны общие правила по оформлению текста: размер шрифта, полей, правила переносов, сокращений, а также иллюстративного материала, таблиц, формул.

© Томский Университет Систем Управления и Радиоэлектроники, 2011

## **ВВЕДЕНИЕ**

Образовательная программа по направлению 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» основана на сочетании теоретического обучения с производственной и научно-исследовательской практикой. Учебно-исследовательские лабораторные практикумы для общепрофессиональных и специальных дисциплин, научно-исследовательская работа студентов на старших курсах позволяют учащимся приобрести навыки научно-исследовательской работы, обработки и оформления результатов эксперимента, представления результатов работы в форме научного доклада и отчета (научной статьи).

В ходе экспериментального исследования студент проходит все этапы обычного цикла научно-исследовательской работы, хотя полученные результаты не несут принципиальной научной новизны.

Методические указания обеспечивают комплексный подход в учебно-исследовательской работе студентов, единство и преемственность требований к оформлению результатов исследовательской работы на разных этапах обучения. С единых позиций приведены основные требования по структуре, оформлению и содержанию отчета по лабораторным работам учебно-исследовательского направления. Кроме того, представлены основные правила оформления работ, включающих правила оформления ставных частей текстов, математических формул, графиков, рисунков и таблиц. В приложениях приведены образцы оформления отчета по лабораторной работе [1].

# 1. Структура, содержание и оформление лабораторных работ

## 1.1 Общие положения

*Лабораторная работа* (ЛР) – вид самостоятельной исследовательской деятельности студента по освоению предметной части изучаемой дисциплины. Данный вид деятельности включает в себя как подготовку студента в домашних условиях, так и работу на рабочем месте в лаборатории, закрепленной за конкретной дисциплиной в основной образовательной программе. Отдельные лабораторные работы связываются в лабораторные циклы (ЛЦ). ЛЦ предназначены для формирования у студентов общеобразовательных и профессиональных компетенций в соответствии с Федеральным Государственным Образовательным Стандартом (ФГОС), в частности:

- 1) для закрепления и углубления знаний предметной части по отдельным вопросам изучаемой дисциплины;
- 2) для приобретения студентами первоначальных навыков самостоятельного (но под наблюдением) выполнения практических работ моделирования, эксплуатации, экспериментального исследования, настройки устройств и пр., что определяется целями и задачами дисциплины в целом;
- 3) для приобретения навыков обработки и осмысления первичных результатов практической работы;
- 4) для приобретения навыков формулирования и оформления выводов по выполненной работе;
- 5) для приобретения и развития опыта планирования и выполнения самостоятельной комплексной работы.

## 1.2 Цели и задачи лабораторных работ

Лабораторные работы являются неотъемлемой частью всей дисциплины и позволяют подтвердить свои теоретические знания на практике. Кроме того, для каждой дисциплины в ФГОС закреплен перечень компетенций, которые должны быть сформированы в ходе изучения данной дисциплины. Исходя из этого, к целям лабораторных работ по дисциплине: «Теория электрических цепей» относятся:

- 1) углубленное освоение студентами теоретических положений по тематикам конкретных работ, как освоение отдельно взятых разделов дисциплины, а также подтверждение теоретических навыков, полученных в ходе лекционных и практических занятий непосредственно результатами исследований;
- 2) обучение каждого студента грамотному ведению рабочей тетради (РТ) и работе с нею;

- 3) привитие стремления превосходить ожидаемые результаты выполнения ЛР как возможность развития логического мышления студентов;
- 4) наработка навыков осознанного планирования работы в виде детализации действий, операций и пр., необходимых для выполнения пунктов задания ЛР;
- 5) обучение правилам первичной обработки материалов, получаемых в ходе ЛР, привитие **СТРЕМЛЕНИЯ К НАГЛЯДНОСТИ** представления материалов первичной обработки и их **СИСТЕМАТИЗАЦИИ**;
- 6) обучение **ГРАМОТНОМУ ФОРМУЛИРОВАНИЮ ВЫВОДОВ**, а также письменному изложению их в соответствии с требованиями стандартов на оформление текстовой документации по проделанной работе;
- 7) ознакомление с конкретными устройствами (включая измерительные), моделями, схемами и пр., работу с которыми предусматривает ЛР. Ознакомление с правилами их эксплуатации, а также с техникой безопасности при работе с устройствами;
- 8) обучение работе студентов в команде;
- 9) обучение планированию исполнения самостоятельной комплексной работы на примерах ЛР.

Следование сформулированным целям разумно во всех ЛР на протяжении всего периода обучения в ВУЗе. Особенно важно исполнение всех требований к ЛР в рамках первых ЛЦ, т.е. на первых курсах ВУЗа, где «закладываются фундаментальные навыки» дальнейшего обучения, и студенты подготавливаются к выполнению **последующих лабораторных циклов в соответствии с едиными требованиями.**

### **1.3 Требования к подготовке, выполнению и оформлению лабораторных работ**

1) Осуществление контроля на каждом этапе выполнения ЛР, что повышает точность измерений. Материалы всех этапов работы должны содержаться в рабочей тетради (РТ) для каждого студента индивидуально. **БРИГАДНЫМ ЯВЛЯЕТСЯ ТОЛЬКО НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЛР.** Все остальное должно быть результатом самостоятельной работы студента. **Несамостоятельность в работе наказывается снижением рейтинговой оценки, вплоть до аннулирования результатов выполнения текущей работы.**

2) Предварительная подготовка к выполнению ЛР. Данный пункт предполагает усвоение студентом целей и задач ЛР еще на стадии подготовки. Подготовка включает в себя: изучение (или повторение)

разделов теории по теме ЛР; выполнение домашних расчетных заданий, предусмотренных описанием работы; усвоение исходных инструкций; составление заготовки отчета **по всем правилам оформления** (в зависимости от содержания и конкретной цели ЛР) Обязательно в заготовку отчета заносятся материалы предварительных теоретических расчетов. **Отсутствие или неудовлетворительное качество представленных на контроль результатов предварительной подготовки, исключает допуск к выполнению ЛР.**

3) Выполнение ЛР, которое состоит из двух стадий:

а. **Проведение необходимых измерений:** занесение их в таблицы отчета. При выполнении данной части лабораторной работы студенту необходимо осуществлять контроль выполнения ЛР. Это возможно путем сравнения теоретического материала, полученного в ходе домашней подготовки студента и результатов измерения. При значительных отклонениях измеренных величин от расчетных преподаватель в праве потребовать **повторного проведения** всего цикла измерений;

б. **Анализ полученных результатов:** построение необходимых зависимостей, диаграмм и пр., расчет параметров, требуемых методическими указаниями ЛР на основании измеренных величин.

4) Бригада студентов на рабочем месте состоит из двух человек. Исключением могут быть ЛР, при выполнении которых по условиям техники безопасности необходимо присутствие третьего человека, также исключение могут составить ЛР на научных и производственных установках, системных комплексах и устройствах, уникальных в техническом или в каком-либо ином отношении.

5) Оформление отчета о проделанной работе после проведения ЛР каждым студентом подгруппы в отдельности. В отчет должны быть включены следующие пункты (подробнее см. п.1.4.):

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие теоретические сведения;
- домашнее задание
- описание экспериментальной установки и методики эксперимента;
- экспериментальные результаты и их анализ;
- выводы.

б) Защита ЛР после выполнения отчета о проделанной работе, которая осуществляется по результатам ЛР, а также с использованием контрольных вопросов по усмотрению преподавателя. В оценку выполнения ЛР входит

как оценка за грамотность оформления отчета, так и правильность ответов на контрольные вопросы. Оценка работы студента регистрируется в журнале преподавателя.

7) Выполнение всех ЛР студентами должно проводиться только на занятиях своей группы в соответствии с расписанием занятий! *Если же студент по уважительной причине (при наличии соответствующего разрешения из деканата) пропустил лабораторную работу со своей группой, то с разрешения преподавателя он может прийти на занятие другой группы и выполнить пропущенную работу или сдать по ней теорию. Такое же право на занятие с другой группой он получает, если заранее получил разрешение преподавателя на пропуск занятия (по уважительной причине). Допуск к выполнению следующей лабораторной работы из-за пропуска занятия без уважительных причин или неподготовленности студента к текущей осуществляется через деканат.*

#### **1.4 Требования к содержанию отдельных частей отчета по лабораторной работе**

1) Отчет должен быть оформлен таким образом, чтобы в нем было всё понятно любому человеку, знающему вузовский курс, но не знакомому с методическим описанием к лабораторной работе. **Учебный отчет должен содержать описание схемы эксперимента и методики эксперимента на таком уровне, чтобы этот человек мог выполнить работу, не имея в руках методического описания к лабораторной работе.**

2) Возможно оформление отчета, как на формате А4, так и в тетради, если это допускается внутренними правилами ВУЗа. Более подробная информация об оформлении отдельных частей отчета представлена в Разделе 2: «Общие требования к оформлению отчета».

3) Содержание каждой части отчета имеет вид:

**Титульный лист** (см. Прил.1) является первой страницей любой научной работы и для конкретного вида работы заполняется по определенным правилам. Для лабораторной работы титульный лист оформляется следующим образом:

а) в верхнем поле листа указывают полное наименование учебного заведения и кафедры, на которой выполнялась данная работа.

б) в среднем поле указывается вид работы, в данном случае лабораторная работа с указанием курса, по которому она выполнена, и ниже ее название. Название лабораторной работы приводится без слова *тема* и в кавычки не заключается.

в) ближе к правому краю титульного листа указывают фамилию, инициалы, курс и группу учащегося, выполнившего работу, а также

фамилию, инициалы, ученую степень и должность преподавателя, принявшего работу.

д) в нижнем поле листа указывается место выполнения работы и год ее написания (без слова *год*).

е) все заголовки в любом научном, инженерном или учебном отчете располагаются симметрично относительно середины титульного листа. **Все несимметрично расположенные строчки сведений о студенте и преподавателе начинаются друг под другом с одного и того же места.** Переносы слов и их сокращения на титульном листе любого отчета – не допускаются, кроме имени и отчества студента и преподавателя.

**1. Цель работы** (см. Прил.2) должна отражать тему лабораторной работы, а также конкретные задачи, поставленные студенту на период выполнения работы. По объему цель работы в зависимости от сложности и многозадачности работы составляет от нескольких строк до 0,5 страницы. Чаще всего цель лабораторной работы представлена в соответствующих методических пособиях по выполнению текущей ЛР.

**2. Краткие теоретические сведения** (см. Прил.2) В этом разделе излагается краткое теоретическое описание изучаемого в работе явления или процесса, приводятся также необходимые расчетные формулы. Материал раздела не должен копировать содержание методического пособия или учебника по данной теме, а ограничивается изложением основных понятий и законов, расчетных формул, таблиц, требующихся для дальнейшей обработки полученных экспериментальных результатов. Объем литературного обзора не должен превышать 1/3 части всего отчета.

**3. Домашнее задание** (см. Прил.2) предполагает домашнюю подготовку студентов. Расчет всех требуемых в задании параметров ЛР, построение графиков, поясняющих физические процессы или зависимости в исследуемых схемах. По согласованию с преподавателем допускается деление расчетов на всех участников подгруппы. Все полученные результаты заносятся в соответствующие таблицы. Графики выполняются в требуемом масштабе.

**4. Описание экспериментальной установки и методики эксперимента** (см. Прил.2) В данном разделе приводится схема экспериментальной установки с описанием работы всех блоков, используемых при выполнении ЛР. Приводится расшифровка отдельных блоков, а также излагается методика проведения эксперимента, процесс получения данных и способ их обработки. Если используются стандартные пакеты компьютерных программ для обработки экспериментальных результатов, то необходимо обосновать возможность и целесообразность их применения, а также подробности обработки данных с их помощью. Для



лабораторных работ, связанных с компьютерным моделированием физических явлений и процессов, необходимо в этом разделе описать математическую модель и компьютерные программы, моделирующие данные явления.

**5. Экспериментальные результаты и их анализ** (см. Прил.2) В этом разделе приводятся условия проведения эксперимента (входное напряжение, частоты входного сигнала, сопротивление нагрузки и пр.), а также результаты, полученные в ходе проведения лабораторных работ: экспериментально или в результате компьютерного моделирования определенные значения величин, графики, таблицы, диаграммы. Кроме того, раздел должен содержать подробный анализ полученных результатов, интерпретацию этих результатов на основе физических законов. Следует сравнить полученные результаты с расчетными значениями, и по возможности с известными литературными данными, обсудить их соответствие существующим теоретическим моделям. Если обнаружено несоответствие полученных результатов и теоретических расчетов или литературных данных, необходимо обсудить возможные причины этих несоответствий.

**6. Выводы** (см. Прил.2) В выводах кратко излагаются результаты работы: полученные экспериментально или теоретически значения физических величин, их зависимости от условий эксперимента или выбранной расчетной модели, указывается их соответствие или несоответствие физическим законам и теоретическим моделям, возможные причины несоответствия.

Число выводов должно быть не меньше числа пунктов задания. Допускается включение материала по пунктам вспомогательного характера в выводы по основным пунктам задания с обязательной апелляцией к ним.

Структура каждого отдельного вывода должна быть следующей:

а) предельно четкая констатация факта. Например: *«...пронаблюдали прямо пропорциональную зависимость между током и напряжением...»* - в качественном; *«... результаты измерений отличаются от расчетных значений порядка 0.02 В, что составило 1%...»* - в количественном отношении, С ПРЕДЕЛЬНО ТОЧНОЙ АДРЕСАЦИЕЙ;

б) отношение к полученным результатам (ко всем сторонам факта, как к количественным, так и к качественным), т.е. конкретизация своего отношения к степени правомерности содержания отмеченных моментов, например, *«... что соответствует результатам расчета...»*;

в) аргументация в пользу своей интерпретации отмеченных фактов (КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ, физический, логический анализ, выдвижение

гипотез с ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ их аргументацией и т.д.). Пример: «... что объясняется законами Кирхгофа...» и т.п.;

Эти требования обуславливаются необходимостью обучения студентов самостоятельному и грамотному исполнению важнейшего этапа ЛР, ради которого в реальных ситуациях и прodelывается вся подготовительная и практическая работа. При выполнении данного пункта студентам рекомендуется использование всевозможного теоретического материала (учебные пособия, конспекты лекций и пр.)

Пример оформления отчета по лабораторной работе представлен в Приложении 2

## **2. Общие правила оформления работ**

Оформление отчета по исследовательской работе (лабораторная работа, курсовая работа и пр.) является одной из ее важных деталей. Существуют основные правила оформления отдельных элементов отчета, таких как текст отчета, таблицы, формулы и рисунки.

### **2.1 Оформление отчета**

1) По согласованию с преподавателем возможно оформление отчета двумя способами: в рукописном виде (рабочая тетрадь или оформление в соответствии с едиными стандартами) или в печатном варианте. Работа в общем случае оформляется на одной стороне листа писчей бумаги формата А4 через 1,5 интервала с числом строк на странице не более 40. Обратная сторона страниц оставляется для пояснений преподавателя или возможных исправлений самого студента. Текст работы следует писать, соблюдая следующие размеры полей:

- левое – не менее 30 мм;
- правое – не менее 10 мм;
- верхнее – не менее 15 мм;
- нижнее – не менее 20 мм.
- Размер шрифта не менее 12 пт. (в редакторе Word).

2) Как ранее говорилось, допускается оформление работы в стандартной общей тетради. Тогда текст располагается на каждой странице, но правила оформления остаются прежними (**для каждой ЛР отдельный титульный лист и все остальные части отчета**)

3) Текст работы делится на главы, разделы, подразделы, пункты. Данное разделение осуществляется из расчета логической целостности отдельно взятого пункта по усмотрению студента. В отчетах по ЛР для обучения студентов правильному оформлению документации разделение на отдельные пункты уже проведено, но для оформления других вариантов

учебно-исследовательской деятельности студента оформление отдельных глав предлагается самим обучающимся.

4) В ЛР предполагается наличие подпунктов, поэтому заголовки разделов отчета следуют один за другим без переноса на новую страницу.

5) Все заголовки, идущие самостоятельными строками, отделяют от предыдущего и последующего текста интервалами и не подчеркивают. “Старшие” подзаголовки можно выделять заглавными буквами или полужирным шрифтом, подзаголовки – курсивом. При этом необходимо соблюдать единообразие и соподчиненность заголовков по всей работе. Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух или более предложений, их разделяют точкой.

6) Не допускается заголовком заканчивать страницу. Заголовок (подзаголовок) обязательно должен быть “закрыт” снизу хотя бы двумя строками или перенесены в начало следующей страницы.

7) В заголовках разделов и таблиц не должно быть переносов слов.

## **2.2 Нумерация страниц**

Страницы нумеруются с середины верхнего или нижнего поля страницы без черточек. Также возможно размещение номеров страниц во внешнем правом верхнем или нижнем углу страницы. Не допускается нумерация страницы с литерами (напр., 15а) пропуск или повтор номеров. На титульном листе или на страницах, полностью занятых рисунками, номера страниц не ставят, но учитывают.

## **2.3 Правила оформления основного текста отчета**

### **2.3.1 Правила оформления переносов**

При оформлении отчета допускаются переносы в тексте в соответствии с основными правилами Русского языка. Существует ряд требований, по которым нельзя выполнять следующие действия:

- 1) разбивать переносом аббревиатуры.
- 2) отрывать фамилии от инициалов и инициалы друг от друга. Перенос с разрывом фамилии допускается.
- 3) размещать в разных строках числа и их наименования.
- 4) оставлять в конце строки открывающиеся кавычки или открывающуюся скобку.
- 5) размещать в разных строках цифры и их размерности.
- 6) разделять сокращенные выражения (*и т.д.*, *и др.*, *т.е.*, *и т.п.*).

*Допускается* разделение переносом чисел, соединенных знаком тире, причем тире должно остаться в верхней строке.

### 2.3.2 Правила оформления знаков препинания

При оформлении отчета в печатном виде, следует руководствоваться следующими требованиями по расположению знаков препинания относительно других элементов текста:

- 1) знаки препинания (точка, запятая, двоеточие, точка с запятой, многоточие, восклицательный и вопросительный знаки) от предшествующих слов пробелом не отделяют, а от последующих отделяют одним пробелом.
- 2) дефис от предшествующих и последующих элементов не отделяют, либо оформляют через неразрывный пробел (Shift+Ctrl+пробел). Неразрывный пробел позволяет при переносе слова на другую строку оставить неразрывными элементы текста.
- 3) тире от предшествующих и последующих элементов отделяют обязательно.
- 4) кавычки и скобки не отбивают от заключенных в них элементов. Знаки препинания от кавычек и скобок не отбивают.
- 5) знак № применяют только с относящимися к нему числами, между ними ставят неразрывный пробел (Shift+Ctrl+пробел) .
- 6) знаки сноски (звездочки или цифры) в основном тексте печатают без пробела, а от текста сноски отделяют одним ударом (напр.: *слово*<sup>1</sup>, <sup>1</sup> *Слово*).
- 7) знаки процента и промилле от чисел отбивают.
- 8) знаки углового градуса, минуты, секунды, терции от предыдущих чисел не отделяют, а от последующих отделяют неразрывным пробелом (напр.: 5° 17'').
- 9) знак градуса температуры отделяется от числа, если за ним следует сокращенное обозначение шкалы (напр., 20 °С, но 20° Цельсия). Также возможно использование неразрывного пробела.

### 2.3.3 Оформление чисел и дат

1) Многозначные числа пишут арабскими цифрами и разбивают на классы (напр.: 13 692). Не разбивают четырехзначные числа и числа, обозначающие номера.

2) Числа должны быть отбиты от относящихся к ним наименований (напр.: 25 м). Числа с буквами в обозначениях не разбиваются (напр.: в пункте 2б). Числа и буквы, разделенные точкой, не имеют отбивки (напр.: 2.13).

3) Основные математические знаки перед числами в значении положительной или отрицательной величины, степени увеличения от чисел не отделяют (напр.:  $-15$ ,  $\times 20$ ).

4) Для обозначения диапазона значений употребляют один из способов: многоточие, тире, знак  $\div$ , либо предлоги от 15... до 18. По всей рукописи следует придерживаться принципа единообразия.

5) Сложные существительные и прилагательные с числами в их составе рекомендуется писать в буквенно-цифровой форме (напр.: *150-летие*, *30-градусный*, *25-процентный*).

6) Стандартной формой написания дат является следующая: 20.03.93 г. Возможны и другие как цифровые, так и словесно-цифровые формы: *20.03.1993 г.*, *22 марта 1993 г.*, *1 сент. 1999 г.*

7) Все виды некалендарных лет (бюджетный, отчетный, учебный), т.е. начинающихся в одном году, а заканчивающихся в другом, пишут через косую черту: *В 1993/94 учебном году. Отчетный 1993/1994 год.*

#### 2.3.4 Оформление сокращений

1) В тексте отчета без пояснения используются только общепринятые сокращения, такие как: т.е. (то есть); т.п. (тому подобное); т.д. (так далее); т.к. (так как); и др.(и другие); см. (смотрите); ЭДС (электродвижущая сила); рис. (рисунок), а также табл. (таблица) в тексте отчета с указанием номера!, и пр. Без указания номера слова "рисунок" и "таблица" принято писать полностью. Полностью слово "Таблица 1" (или с иным номером!) пишется также в заголовках таблиц, в то время как под рисунками всегда пишут "Рис. 1" (или с иным номером) с сокращением слова "Рисунок".

2) Если в методических указаниях введены и используются иные сокращения (например, СУ - система управления; Г – генератор; Сч – счетчик импульсов; ЗГ – звуковой генератор; О – осциллограф), то эти сокращения должны иметь расшифровку в тексте отчета при их первом использовании. Обычно эти сокращения используются в рисунках и схемах и при их описании, в пункте: *Схема экспериментальной установки. Используемые в работе сокращения поясняют в скобках после первого употребления сокращаемого понятия. Напр.:... заканчивается этап составлением тактико-технического задания (ТТЗ).*

3) Совершенно недопустимо использовать не общепринятые сокращения, которые студент использует при записи лекций: св-ва (свойства), ф-ла (формула), ф-ия (функция), эл. (электрический), э/м (электромагнитный) и т.д., или не писать окончания существительных и прилагательных, например: "Исслед. завис. амплитуды вынужд. колебаний

...", "знач. емкости", "С импульсн. ген-ра ...".

4) Однотипные слова и словосочетания, в которых допустимы сокращения, должны либо сокращаться, либо нет по всему тексту отчета (например: *в 1919 году и XX веке* или *в 1919 г. и XX в.*; и другие, то есть или и др., т.е.).

5) Существует ряд общепринятых графических сокращений;

- a) Употребляемые только при именах и фамилиях: *г-н, т., им., акад., д-р., доц., канд. физ.-мат. наук, ген., чл.-кор.* Напр.: *доц. Петров*;
- b) Слова, сокращаемые только при географических названиях: *г., с., пос., обл., ул., просп.* Например: *в с. Межево*, но: *в нашем селе*;
- c) Слова, употребляемые только в сочетании с цифрами или буквами: *гл.5, п.10, подп.2а, разд.А, с.54 – 598, рис.8.1, т.2, табл.10 – 12, ч.1.*
- d) Сокращения, употребляемые только при числительных: *в., вв., г., гг., до н.э., г.н.э., тыс., млн, млрд, экз., к., р.* Напр.: *20 млн. р., 5р. 20к.*

Любые используемые в тексте сокращения должны соответствовать правилам грамматики, а также требованиям государственных стандартов.

### 2.3.5 Оформление единиц физических величин

1) Используемые буквенные обозначения единиц физических величин должны соответствовать государственным стандартам. Основной системой единиц является система СИ.

2) В качестве обозначений предусмотрены буквенные обозначения и специальные знаки, напр.: *20.5 кг, 438 Дж/(кг/К), 36 °С, 5 (мА)* При написании сложных единиц комбинировать буквенные обозначения и наименования не допускается.

3) Если после расчетов ставится размерность, то она должна заключаться в квадратные скобки. Например:  $U = I \cdot R = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 4 = 20[\text{мВ}]$

### 2.3.6 Оформление таблиц

Таблица – это способ передачи содержания, заключающийся в организации структуры данных, в которой отдельные элементы помещены в ячейки, каждой из которых сопоставлена пара значений — номер строки и номер колонки. Таким образом, устанавливается смысловая связь между элементами, принадлежащими одному столбцу или одной строке.

Существует несколько требований, предъявляемых к оформлению таблиц:

1) таблицы помещают непосредственно после абзацев, содержащих ссылку на них, а если места недостаточно, то в начале следующей страницы;

2) обычно таблица состоит из следующих элементов: порядкового номера и тематического заголовка; *боковика*; заголовков вертикальных граф (основной части, т.е. *прографке*);

3) заголовки таблицы рекомендуется печатать через один интервал. Заголовки граф располагают центрировано относительно горизонтальных и вертикальных линий;

4) все таблицы должны быть пронумерованы. Система нумерации может быть сквозной (1, 2, 3 и т.д.) или поглавной (2.1, 2.2, и т.д.). Над правым верхним углом таблицы помещают надпись *Таблица* с указанием номера таблицы (например, *Таблица 1*) без значка № перед цифрой и точки после нее. Таблицы снабжают тематическими заголовками, которые располагаются сразу после нумерационного заголовка, без точки на конце. Например:

Таблица 1 Результаты измерений частоты

$T, с$	$f=1/T, Гц$	$\omega=2\pi f, рад\csc$
$2 \cdot 10^{-3}$	$0.5 \cdot 10^{-3}$	$1.57 \cdot 10^{-3}$

5) если таблица в тексте одна, то нумерационный заголовок опускают. Строки многострочных заголовков можно располагать двумя способами: либо все строки печатать симметрично по ширине графы, либо только наибольшие, а остальные выравнивать по ним слева;

б) в одноярусной головке все заголовки печатают с заглавной, а последующих – с заглавной, если они самостоятельны (рис.1(а)), и со строчной, если подчинены заголовку верхнего яруса (рис.1(б)). Пример оформления представлен на рис.1.

Свойства		Успеваемость	
Твердость	Упругость	относительная	качественная

а) б)

Рис.1 Оформление элементов таблицы

7) сноски (пояснения) к таблице печатают непосредственно под ней.

8) при переносе таблицы на следующую страницу головку таблицы следует повторить и над ней поместить *Продолжение табл. 1*". При переносе таблицы на другую страницу нумеруют заголовки граф. Тогда на новой странице заголовки граф заменяют цифрами. Тематический заголовок при этом можно не повторять.

9) строки боковика таблицы выравнивают по левому краю. Наибольший по длине элемент располагают по центру. Текст всех строк боковика печатают с заглавной буквы. Двухстрочные и многострочные элементы боковика печатают через 1 интервал одним из следующих способов: первую строку без абзацного отступа, последующие с отступом в два знака; первую строку с абзацного отступа (два знака), последующие – без отступа от левого края. Рубрики в боковике таблицы печатают с отступом. Перед перечислением ставят двоеточие. В таблице не должно быть пустых граф. Текст в графах располагают от левого края (преимущественно) или центрируют.

10) обозначение единиц величин рекомендуется присоединять к заголовку без предлога и скобок, например: Длина, м.

11) числа в графах делят на разряды и располагают единицы под единицами, десятки под десятками и т.д. Числовые значения неодинаковых величин располагают посередине строки. Диапазон значений выравнивают по тире (многоточию).

### 2.3.7 Оформление математических формул

**Математическая формула** - принятая в математике (а также физике и прикладных науках) символическая запись законченного логического суждения (определения величины, уравнения, неравенства или тождества), имеющая геометрическое пояснение с помощью диаграмм, графиков, рисунков.

1) Формулы отделяются от последующего и предыдущего текста (или других формул) одной строкой.

2) Наиболее важные, а также громоздкие формулы располагают отдельными строками – либо посередине, либо от левого края строки.

3) Несколько коротких однотипных формул можно помещать в одной строке, а не в столбик.

4) Нумеровать следует только наиболее важные формулы, на которые в тексте имеются ссылки.

5) Порядковые номера ставят в круглых скобках у правого края листа. Нумерация может быть сквозной или поглавной.



Например:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2.1)$$

6) При переносе формулы номер ставят напротив последней строки в край текста. Если формула помещена в рамку, номер помещают вне рамки против основной строки формулы.

7) Группа формул, объединенных фигурной скобкой, имеет один номер, помещаемый точно против острия скобки.

8) При ссылке на формулу в тексте ее номер ставят в круглых скобках. Например: «Из уравнения (15) следует...».

9) В конце формулы и в тексте перед ней знаки препинания ставят в соответствии с правилами пунктуации. Формулы, следующие одна за другой, отделяют запятой или точкой с запятой, которые ставят за формулами до их номера. Экспликацию (расшифровку буквенных обозначений величин) принято помещать после формулы. Начинать каждую расшифровку с новой строки не рекомендуется. Переносы формул со строки на строку осуществляются в первую очередь на знаках отношения (=; ≠; ≥, ≤ и т.п.), во вторую – на знаках сложения и вычитания, в третью – на знаке умножения в виде крестика. Знак следует повторить в начале второй строки.

10) Если формулы в тексте размещают посередине строки, то и перенесенную часть располагают посередине. Если же от левого края, то перенесенную часть размещают справа.

11) При выполнении любого рода расчетов необходимо первоначально записать формулу в символьном виде, затем в соответствии с символами подставить их числовые значения, затем полученный результат. Например:  $I=1A$ ,  $R=7\text{Ом}$ , тогда активная мощность равна  $P=I^2 \cdot R=1^2 \cdot 7=7[\text{Вт}]$ . Нельзя подставлять значения не в порядке следования параметров в формуле, например,  $P=I^2 \cdot R=1 \cdot 7=7[\text{Вт}]$  или  $P=I^2 \cdot R=7 \cdot 1^2=7[\text{Вт}]$ .

### 2.3.8 Оформление иллюстративного материала

1) В качестве иллюстраций можно использовать фотографии, рисунки, чертежи, схемы, диаграммы, номограммы. Размеры иллюстраций не должны превышать формата страницы с учетом полей.

2) Иллюстрации должны быть выполнены аккуратно, чтобы не было искажения информации.

3) В тексте, где идет речь о теме, связанной с иллюстрацией, помещают ссылку либо в виде заключенного в круглые скобки выражения (рис.3) либо в виде оборота типа ...как это видно на рис.3.

4) Не допустим разрыв следующей страницы подписей к рисункам и самим рисункам. Подписи должны быть полностью написаны или напечатаны непосредственно под рисунком на одной странице с этим рисунком

5) Иллюстрации помещают непосредственно ниже абзацев, содержащих упоминание о них. Если места недостаточно, то – в начале следующей страницы.

6) Если ширина рисунка больше 8 см, то его располагают симметрично посередине. Если его ширина менее 8 см, то рисунок лучше расположить с краю, в обрамлении текста. Под рисунком располагают подрисуночную подпись (Рис. 2). Подпись включает сокращенное обозначение рисунка, порядковый номер и тематическое название. В состав подрисуночной подписи может входить также экспликация, которая представляет собой описание отдельных позиций рисунка. Точку в конце подрисуночной подписи не ставят.

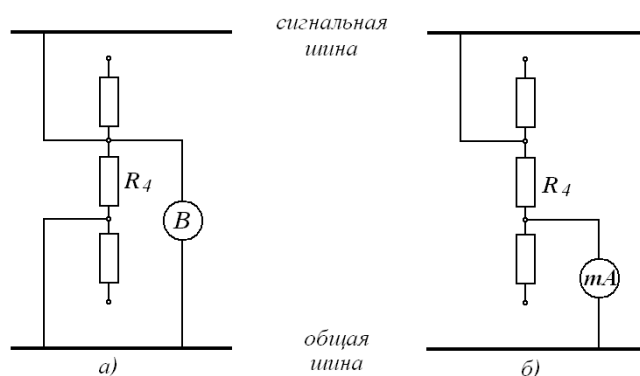


Рис.2 Схема подключения измерительных приборов для определения: а) напряжения на элементе; б) тока на элементе

7) Позиции (элементы) рисунка обозначают, как правило, арабскими цифрами на выносных линиях или буквами русского алфавита, либо условными обозначениями. Цифры располагают последовательно слева направо, сверху вниз или по часовой стрелке.

8) Разъяснение позиций дают либо в подрисуночной подписи, либо в тексте в процессе описания – путем присоединения соответствующей цифры (буквы) без скобок при первом упоминании элемента. Например: Снять зависимость  $z_{ex}(f)$  в точках 4, 2-3 и 5 (рис 3.2)... Наименования сред (газ, раствор, вода и т.п.) указывают непосредственно на рисунке.

9) Схемы выполняют без соблюдения масштаба, не учитывая пространственного расположения составных частей изделия в соответствии с ГОСТ 2.701-75, ГОСТ 2.702-75, ГОСТ 2.710-75

10) Результаты обработки числовых данных можно представить в виде графиков. Графики используются как для анализа, так и для повышения наглядности иллюстрируемого материала.

11) Оси абсцисс и ординат графика вычерчиваются сплошными линиями. На концах координатных осей стрелок не ставят. Числовые значения масштаба шкал осей координат пишут за пределами графика (левее оси ординат и ниже оси абсцисс).

12) По осям координат должны быть указаны условные обозначения и размерности отложенных величин в принятых сокращениях. На графике следует писать только принятые в тексте условные буквенные обозначения. Надписи, относящиеся к кривым и точкам, оставляют только в тех случаях, когда их немного, и они являются краткими. Многословные надписи заменяют цифрами, а расшифровку приводят в подрисуночной подписи.

13) Нумерация рисунков может быть как сквозной, так и индексационной поглавной. Например: *Рис.6.*, *Рис.2.7.*

14) Если рисунок в отчете (статье) один, то он не нумеруется. Пояснение частей иллюстрации, расшифровку условных обозначений можно включить в состав подписи.

## **2.4 Оформление приложений**

1) В качестве приложений используют дополнительный материал, чаще всего вспомогательного характера: образцы выполнения работ, расчетов, разного рода таблицы, формы, таблицы, схемы и т.п.

2) Приложения располагают в конце издания после списка литературы. Слово *Приложение* пишут справа вверху, а название приложения располагают по середине листа. Если приложений несколько, то их нумеруют. Знак № и точку не ставят. Можно выделить разрядкой, курсивом или прописными буквами.

3) Необходимо напомнить, что в соответствии с ГОСТ 2.104 - 68 и ГОСТ 2.301 - 68 Основная надпись, а, значит, и само изображение в Приложениях располагается по короткой стороне листа А4, для формата А3 разрешается оформление основной надписи по длинной стороне страницы.

## **Список используемой литературы**

1. Подготовка и оформление лабораторной, курсовой и дипломной работ: метод. указания к выполнению практических работ для студентов специальности 010400 МИФО / сост.: Г. А. Александрова, А. С. Паршин; СибГАУ. Красноярск, 2004. – 29 с.
2. Атабеков Г.И. Основы теории цепей. – СПб.: Лань, 2009.-432с
3. Повышение эффективности лабораторных циклов: научное издание / А. Н. Колесов; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники // Современное образование: массовость и качество. - Томск: ТУСУР, 2001. - С. 59-61.

Пример оформления титульного листа лабораторной работы

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»**

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники (ТОР)

Отчет по лабораторной работе №2  
по курсу «Теория электрических цепей»  
**Исследование законов Ома и Кирхгофа в электрической цепи при  
гармоническом воздействии**

**Выполнил:**  
студент гр. 100  
\_\_\_\_\_ *Соколов Ю.В.*  
совместно со студентом  
*Петровым Н.А.*  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2011г.

**Принял:**  
к.ф.-м.н., профессор  
\_\_\_\_\_ *Иванов А.С.*  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2011г.

Томск 2011

**1. Цель работы**

Целью работы является:

- освоение методов измерения напряжения, тока и разности фаз гармонических сигналов;
- экспериментальная проверка выполнения закона Ома и топологических уравнений для цепей первого порядка для реактивных и резистивных элементов при гармоническом воздействии;

**2. Краткие теоретические сведения**

В лабораторной работе необходимо проверить выполнение закона Ома для различного типа элементов. Исследованию подлежат цепи из последовательно соединенных элементов RL, RC, RR. Общая схема цепи представлена на рис.2.1:

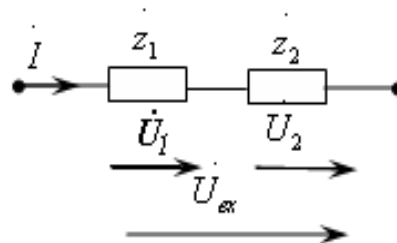


Рис. 2.1 Последовательное соединение двух элементов цепи

В качестве сопротивлений  $z_1, z_2$  могут быть использованы как активное сопротивление R, так и сопротивление индуктивности или емкости, которые являются частотно зависимыми и на любой частоте определяются выражениями (2.1), (2.2), соответственно:

$$z_L = j\omega L = \omega L \cdot e^{j90^\circ}, \tag{2.1}$$

$$z_C = \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{\omega C} \cdot e^{-j90^\circ}, \tag{2.2}$$

где  $\omega = 2\pi \cdot f[\text{рад}\backslash\text{с}]$  - текущая угловая частота

$C, L$  – значение емкости в Ф и индуктивности в Гн, соответственно.

С помощью законов Ома и Кирхгофа, при известных значениях входного напряжения и значениях сопротивлений  $z_1, z_2$  общий алгоритм расчета тока в цепи  $I$  и напряжений на элементах  $U_1, U_2$  будет определяться выражениями (2.3) – (2.5):

$$I = \frac{U_{ex}}{z_1 + z_2}, \tag{2.3}$$

Напряжение на любом элементе можно определить по закону Ома:

$\dot{U}_k = \dot{I} \cdot \dot{z}_k$ , тогда напряжения на элементах определяются:

$$\dot{U}_1 = \frac{\dot{U}_{ex} \cdot \dot{z}_1}{\dot{z}_1 + \dot{z}_2}, \quad (2.4)$$

$$\dot{U}_2 = \frac{\dot{U}_{ex} \cdot \dot{z}_2}{\dot{z}_1 + \dot{z}_2}, \quad (2.5)$$

### 3. Домашнее задание

#### 3.1 Расчет параметров цепи для последовательного соединения RL элементов

Для следующих параметров цепи ( $U_{ex}=1В$ ,  $L=30мГн$ ,  $C=0.03 мкФ$ ,  $R=1кОм$ ,  $f=15 кГц$ ) рассчитаем токи и напряжения на элементах по формулам из п.2. Принципиальная схема последовательного подключения элементов представлена на рис.3.1:

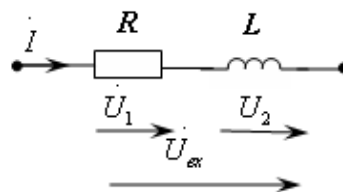


Рис. 3.1 Последовательное соединение индуктивности и сопротивления  
Рассчитаем сопротивление индуктивности по формуле (2.1):

$$\dot{z}_L = j \cdot \omega \cdot L = j \cdot 2\pi \cdot f \cdot L = j \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 2826 \cdot e^{j90^0} \text{ [Ом]}$$

По выражению (2.5) рассчитаем напряжение на индуктивности:

$$\dot{U}_L = \dot{U}_{ex} \cdot \frac{j\omega L}{R + j\omega L}$$

Данная функция является комплексной, поэтому на

основе

математических выражений запишем отдельно модуль напряжения, а также фазу напряжения на индуктивности.

$$|\dot{U}_L| = U_{ex} \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = 1 \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{(10^3)^2 + (2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-3})^2}} = 0.943 \text{ [В]}$$

$$\varphi_{UL} = 90^0 - \arctg \frac{\omega L}{R} = 90^0 - \arctg \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{10^3} = 19.5^0$$

Аналогичным способом по выражению (2.4) рассчитаем напряжение на активном сопротивлении:

$$|\dot{U}_R| = U_{ex} \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = 1 \frac{10^3}{\sqrt{(10^3)^2 + (2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-3})^2}} = 0.333 \text{ [В]}$$

$$\varphi_{U_R} = -\arctg \frac{\omega L}{R} = -\arctg \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{10^3} = -70.5^\circ$$

По выражению (2.3) определим значение тока:

$$|\dot{I}| = \frac{|\dot{U}_{ex}|}{|z_1 + z_2|} = \frac{U_{ex}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{1}{\sqrt{(10^3)^2 + (2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-3})^2}} = 0.333 \text{ [mA]}$$

Так как по определению ток и напряжение на активном сопротивлении совпадают по фазе, то фаза тока будет равна фазе напряжения на сопротивлении R:

$$\varphi_I = \varphi_{UR} = -\arctg \frac{\omega L}{R} = -\arctg \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{10^3} = -70.5^\circ$$

Результаты расчетов занесем в табл.5.1. На основе полученных данных построим векторные диаграммы токов и напряжений (рис.5.1).

### Расчет параметров цепи для последовательного соединения RC элементов

Методика определения параметров цепи при последовательном соединении емкости и сопротивления (см. рис.3.2) такая же, как и при соединении RL элементов, поэтому по выражениям (2.3)-(2.5) рассчитаем ток и напряжения на элементах при известных параметрах входного сигнала и значениях элементов цепи:

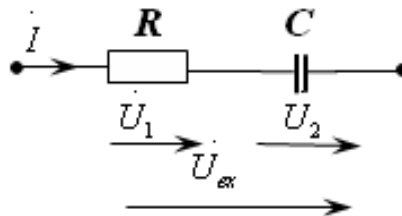


Рис.3.2 Последовательное соединение RC элементов

Рассчитаем сопротивление емкости по формуле (2.2):

$$z_C = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} = \frac{1}{j \cdot 2\pi \cdot f \cdot C} = -j \cdot \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 0.03 \cdot 10^{-6}} = 354 \cdot e^{-j90^\circ} \text{ [Om]}$$

По выражению (2.5) рассчитаем напряжение на емкости:

$$\dot{U}_C = \dot{U}_{ex} \cdot \frac{1}{1 + jR\omega C}$$

Данная функция является комплексной, поэтому на

основе математических выражений запишем отдельно модуль напряжения, а также фазу напряжения на индуктивности.

$$|\dot{U}_C| = U_{ex} \frac{1}{\sqrt{1^2 + (\omega RC)^2}} = 1 \frac{1}{\sqrt{1 + (2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 0.03 \cdot 10^{-6})^2}} = 0.333 \text{ [B]}$$

$$\varphi_{UC} = -\arctg(\omega RC) = -\arctg(2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 0.03 \cdot 10^{-6}) = -70.5^\circ$$

Аналогичным способом по выражению (2.4) рассчитаем напряжение на



активном

сопротивлении:

$$|\dot{U}_R| = U_{\text{вх}} \frac{\omega \cdot R \cdot C}{\sqrt{1^2 + (\omega RC)^2}} = 1 \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 0.03 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{1^2 + (2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 0.03 \cdot 10^{-6})^2}} = 0.943 \text{ [В]}$$

$$\varphi_{UR} = 90^\circ - \arctg(\omega RC) = 90^\circ - \arctg(2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 0.03 \cdot 10^{-6}) = 19.5^\circ$$

По выражению (2.3) определим значение тока:

$$|\dot{I}| = \frac{|\dot{U}_{\text{вх}}|}{|z_1 + z_2|} = \frac{U_{\text{вх}} \cdot \omega \cdot C}{\sqrt{1^2 + (R\omega C)^2}} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 0.03 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{1^2 + (2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 0.03 \cdot 10^{-6})^2}} = 0.943 \text{ [мА]}$$

Так как по определению ток и напряжение на активном сопротивлении совпадают по фазе, то фаза тока будет равна фазе напряжения на сопротивлении R:

$$\varphi_I = \varphi_{UR} = 90^\circ - \arctg(\omega RC) = 90^\circ - \arctg(2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 0.03 \cdot 10^{-6}) = 19.5^\circ$$

Результаты расчетов занесем в табл.5.2. На основе полученных данных построим векторные диаграммы токов и напряжений (рис.5.2).

#### Расчет параметров цепи для последовательного соединения RR элементов

Ток и напряжения на элементах (рис.3.3) рассчитываются по выражениям (2.3)-(2.5). Примем сопротивление цепи равным 1 кОм, а фазу входного напряжения равным  $0^\circ$ , тогда:

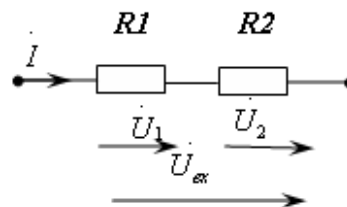


Рис.3.3 Последовательное соединение двух активных элементов

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{\text{вх}}}{R1 + R2} = \frac{1}{10^3 + 10^3} = 0.5 \text{ [мА]}; U_1 = \frac{\dot{U}_{\text{вх}} \cdot R1}{R1 + R2} = \frac{1 \cdot 10^3}{10^3 + 10^3} = 0.5 \text{ [В]}$$

$$U_2 = \frac{\dot{U}_{\text{вх}} \cdot R2}{R1 + R2} = \frac{1 \cdot 10^3}{10^3 + 10^3} = 0.5 \text{ [В]}; \varphi_{UR1} = \varphi_{UR2} = \varphi_I = 0^\circ$$

Результаты расчетов занесем в табл.5.3. На основе полученных данных построим векторные диаграммы токов и напряжений (рис.5.3).

#### 4. Схема экспериментальной установки и методика эксперимента

Схема экспериментальной установки представлена на рис.4.1:

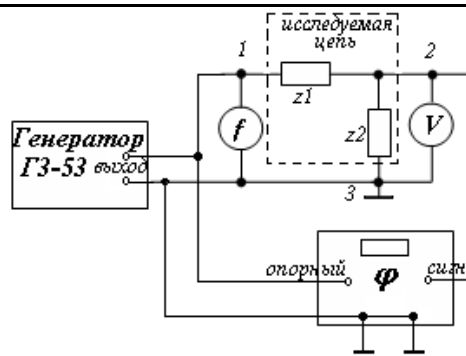


Рис. 4.1. Схема экспериментальной установки для измерения модуля и фазы напряжения на элементе  $z_2$ .

На рис. 4.1.:  $f$  - измеритель частоты. В нашем случае мультиметр, работающий в режиме МГц;  $V$  – вольтметр;  $\varphi$  - фазометр.

Методика измерений заключается в следующем:

1. Соединяются нулевые провода (коричневый провод) всех приборов (генератор ГЗ-53, фазометр, вольтметр и мультиметр) к шине  $\perp$  (земля).

2. Собирается требуемая схема. Вместо сопротивлений  $z_1$  и  $z_2$  подключается необходимый по заданию элемент (R, L, C).

3. Выход генератора, оба входа фазометра (сигнальный и опорный), вход мультиметра, вход вольтметра подключается к сигнальной шине.

4. Настраивается на генераторе согласно варианту студента частота и напряжение (1-1.5 В) входного сигнала с помощью ручки регулировки частоты и уровня сигнала.

5. Собранная схема подключается с одной стороны к сигнальной шине, а с другой - к шине  $\perp$ .

6. Вход вольтметра и сигнальный выход фазометра подключается параллельно элементу, который в настоящий момент заземлен. Для рис. 4.1. измерения проводят для элемента  $z_2$ .

7. Регистрируются показания с вольтметра и фазометра, заносятся в необходимую ячейку соответствующей таблицы.

8. Меняются местами сопротивления  $z_1$  и  $z_2$ , как показано на рис. 4.2. Проводятся аналогичные мероприятия, как и в п.5-7.

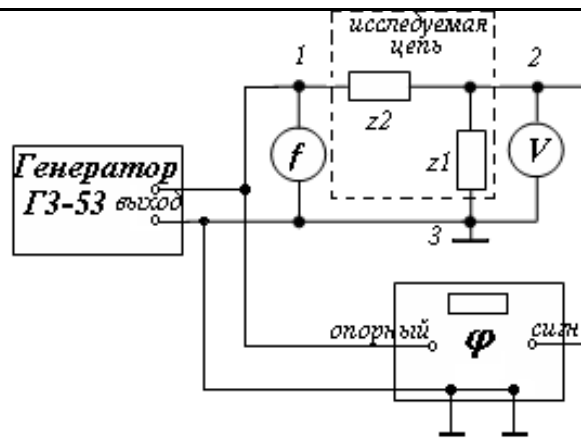


Рис. 4.2. Схема экспериментальной установки для измерения модуля и фазы напряжения на элементе  $z_1$

9. По результатам измерений проводятся необходимые вычисления. На основании полученных значений, а также на основании домашнего задания (оба графика на одном рисунке) в соответствующем масштабе строятся векторные диаграммы токов и напряжений для каждого соединения на отдельном рисунке.

10. Делаются выводы о проделанной работе.

### 5. Экспериментальные данные и их анализ.

В ходе работы, как расчетным путем, так и экспериментальным были получены значения модуля и фазы напряжения на соответствующих элементах. Результаты занесены в соответствующие таблицы.

Таблица 5.1 Последовательное соединение  $RL$ - элементов.

Частота генератора  $f=15$  кГц,  $U_{вх} = 1В$

	$U_{RL}, В$	$\varphi_{U_{R1}}, ^\circ$	$U_L, В$	$\varphi_{U_L}, ^\circ$	$I, мА$	$\varphi_I, ^\circ$	$R1, Ом$	$L, мГн$	$ z_L , Ом$
Расчет	0.333	-70.5	0.943	19.5	0.333	-70.5	1000	30	2826
Эксперимент	0.32	-71.5	0.94	18.6	0.32	-71.5	999	31	2935

Рассчитаем значение тока в цепи по экспериментальным данным:

По закону Ома определим значение тока в цепи:  $|I| = \frac{|U_R|}{R} = \frac{0.32}{999} = 0.32 \text{ [мА]}$

Фаза тока совпадает с фазой напряжения на активном сопротивлении, поэтому  $\varphi_I = -71.5^\circ$

По закону Ома определим модель сопротивления на индуктивности:

$$|Z_L| = \frac{|U_L|}{|I|} = \frac{0.94}{0.32 \cdot 10^{-3}} = 2935 \text{ [Ом]}$$

Тогда значение индуктивности можно рассчитать из выражения (2.4):

$$L = \frac{|z_L|}{\omega} = \frac{|z_L|}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{2935}{2 \cdot 3.14 \cdot 15 \cdot 10^3} = 31 \text{ [мГн]}$$

По результатам таблицы 5.1 построим топографические векторные диаграммы:

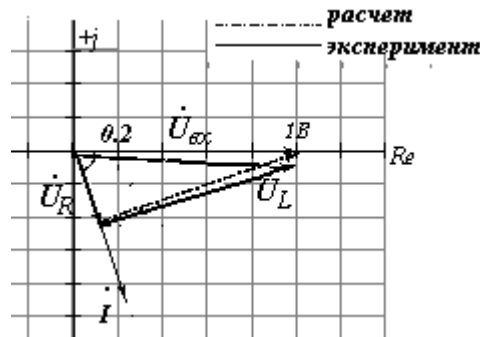


Рис. 5.1 Векторная диаграмма напряжений для последовательного соединения RL элементов

Подобным образом оформляем в таблицы результаты работы для последовательного соединения RC и RR элементов. Строим векторные диаграммы тока и напряжений.

## 6. Выводы

В ходе лабораторной работы были измерены модули и фазы напряжения на элементах при последовательном соединении. Также косвенным методом было определено значение тока в цепи.

Результаты измерений сравнивались с расчетными значениями. Значения совпали в пределах погрешности: для фазы погрешность составила порядка  $0.5^{\circ}$  или 1.5%, для модуля напряжения порядка 0.02 В или 4%. Кроме того были сделаны следующие выводы:

- 1). При последовательном соединении RL элементов:
  - а) разность между фазой тока и напряжения на индуктивности равна  $90^{\circ}$ , причем из векторных диаграмм (рис.5.1.) видно, что вектор напряжения на индуктивности опережает ток.
  - б) Сравнивая фазу входного напряжения  $\varphi_{U_{вх}} = 0^{\circ} = 0^{\circ}$  и фазу тока в цепи  $\varphi_I = -71.5^{\circ}$ , видим, что ток при последовательном соединении индуктивности и сопротивления отстает от входного напряжения.
  - с) При исследовании результатов на выполнение 2го закона Кирхгофа, суммируя значения напряжений на элементах, получаем, что их сумма не равна входному воздействию  $|U_L| + |U_R| = 0.32 + 0.94 = 1.26 \neq 1В$ . Разность фаз между напряжением на сопротивлении и напряжением на индуктивности равна  $90^{\circ}$ , а значит, векторы образуют прямоугольный треугольник (см. рис 5.1). Тогда входное напряжение определяется по

теореме Пифагора:  $\sqrt{|U_L|^2 + |U_R|^2} = \sqrt{0.94^2 + 0.32^2} = 0.99 \approx 1B$ , что соответствует теории.

d) Косвенным методом было получено значение индуктивности,  $L=31$  мГн. Расхождение с расчетными значениями оказалось 1мГн или 3%.

При изменении частоты входного сигнала значения токов и напряжений на отдельных элементах цепи будет меняться, это связано с частотной зависимостью реактивных элементов:  $z_L = j\omega L = \omega L \cdot e^{j90^\circ}$ . Соответственно, с ростом частоты входного воздействия, сопротивление индуктивности будет увеличиваться. Тогда по закону Ома напряжение на индуктивности будет увеличиваться, что приводит к изменению значений фаз и модулей напряжений и на других элементах цепи.

Подобные выводы оформляются для всех пунктов лабораторного задания, т.е., для последовательного соединения RC и RR- элементов