

Е. В. Вострецова, С. М. Зраенко, Ю. В. Шилов

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СПО

*Рекомендовано Учебно–методическим отделом среднего
профессионального образования в качестве учебного
пособия для студентов образовательных учреждений среднего
профессионального образования*

**Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru**

Москва ■ Юрайт ■ 2016

Екатеринбург ■ Издательство Уральского университета

Авторы:

Вострцова Елена Владимировна — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ радиотехники Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина;

Зраенко Сергей Михайлович — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ радиотехники Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина;

Шилов Юрий Владиславович — старший преподаватель кафедры теоретических основ радиотехники Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Рецензенты:

кафедра общепрофессиональных дисциплин технических специальностей Уральского технического института связи и информатики (заместитель заведующего кафедрой — кандидат технических наук, доцент *Будылина Н. В.*);

Кумков С. И. — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Отдела динамических систем Института математики и механики Уральского отделения Российской академии наук.

Вострцова, Е. В.

В78 Теория электрических цепей. Лабораторный практикум : учеб. пособие для СПО / Е. В. Вострцова, С. М. Зраенко, Ю. В. Шилов ; под науч. ред. А. С. Лучина. — М. : Издательство Юрайт, 2016 ; Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. — 137 с. — Серия : Профессиональное образование.

ISBN 978-5-9916-9855-9 (Издательство Юрайт)

ISBN 978-5-7996-1934-3 (Изд-во Урал. ун-та)

В издании дано описание комплекса измерительных приборов и лабораторного стенда, а также методика проведения измерений при выполнении цикла из восьми лабораторных работ по курсам «Основы теории цепей», «Теория электрических цепей». Также приведены основные расчетные соотношения, требования по подготовке и порядок выполнения работ по исследованию линейных электрических цепей и рекомендации по оформлению отчета.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным требованиям.

Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по инженерно-техническим специальностям.

УДК 621.3.011.7(075.32)

ББК 31.211я723



Delphi Law Company

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-9916-9855-9

(Издательство Юрайт)

ISBN 978-5-7996-1934-3

(Изд-во Урал. ун-та)

© Вострцова Е. В., Зраенко С. М., Шилов Ю. В., 2015

© Уральский федеральный университет, 2015

© ООО «Издательство Юрайт», 2016

Оглавление

Предисловие от издательства.....	2
Введение	4
Лабораторная работа № 1	
Измерение параметров сигналов и цепей	7
Лабораторная работа № 2	
Простейшие электрические цепи при гармоническом воздействии ...	12
Лабораторная работа № 3	
Анализ сложных линейных цепей	22
Лабораторная работа № 4	
Индуктивно-связанные цепи	35
Лабораторная работа № 5	
Частотные характеристики простейших электрических цепей.....	49
Лабораторная работа № 6	
Резонансные явления в электрических цепях.....	59
Лабораторная работа № 7	
Исследование пассивного четырехполюсника	75
Лабораторная работа № 8	
Переходные процессы в цепях первого и второго порядков	87
Приложение 1	
Описание приборов.....	103
Приложение 2	
Описание лабораторного стенда.....	130
Список библиографических ссылок.....	135

Предисловие от издательства

В результате изучения материалов пособия «Теория электрических цепей. Лабораторный практикум» студент должен освоить:

трудовые действия

- владение навыками составления схем замещения и моделирования электрических сетей, аппаратов и машин;
- владение навыками экспериментальных исследований электрических цепей с использованием современных метрологических средств измерения;
- владение компьютерными технологиями при выполнении курсовых заданий, решении задач на практических (семинарских) занятиях, подготовке и проведении лабораторных работ и обработке их результатов;

необходимые умения

- анализ и расчет электрических цепей постоянного, переменного однофазного и трехфазного токов, а также несинусоидальные, нелинейные, магнитосвязанные цепи и цепи с рассредоточенными параметрами;
- анализ и расчет переходных процессов в цепях с сосредоточенными параметрами классическим и операторным методами;

необходимые знания

- основные понятия и определения по электрическим системам и цепям и основные законы для их анализа и расчета;
- резонансные методы передачи и применения электрической энергии.

Введение

Целью практикума по курсам «Основы теории цепей» и «Теория электрических цепей» является изучение и экспериментальное подтверждение основных теоретических положений, ознакомление с некоторыми измерительными приборами и овладение методикой основных электрических измерений.

Выполнение каждой работы состоит из четырех основных этапов:

1. Теоретическая часть.
2. Расчетная часть
2. Экспериментальная часть.
3. Составление отчета.

1. Теоретическая часть

Во время выполнения теоретической части студент должен обстоятельно ознакомиться с соответствующими разделами теоретического курса с использованием конспекта лекций и учебников [1–3].

2. Расчетная часть

а) выполнить требуемые предварительные расчеты (примеры можно посмотреть в задачнике [4]) и построить необходимые графики (числовые данные для расчетов находятся в лаборатории);

б) составить принципиальные и монтажные схемы эксперимента, продумать назначение каждого прибора и деталей лабораторной установки, а также порядок их включения;

в) подготовить ответы на контрольные вопросы.

3. Экспериментальная часть

Лабораторные работы поставлены коллективом кафедры «Теоретические основы радиотехники» УрФУ и в течение многих лет дорабатываются и выполняются в лаборатории «Основы теории цепей». Предыдущая редакция методических указаний к ним была подготовлена в 2005 году [5], [6]. Лабораторные работы выполняются бригадами по два человека в часы, предусмотренные расписанием.

Непосредственному выполнению каждой лабораторной работы предшествует теоретический коллоквиум — проверка подготовленности студентов. При этом студент представляет преподавателю оформленный отчет по предыдущей работе и все расчеты, графики и схемы, относящиеся к выполняемой работе.

Если представленные материалы признаны удовлетворительными, преподаватель задает контрольные вопросы, касающиеся предстоящей лабораторной работы.

Если материалы, представленные студентом, или его ответы на контрольные вопросы признаны неудовлетворительными, студент к выполнению лабораторной работы не допускается.

Студенты, допущенные к лабораторной работе, выполняют ее в соответствии с настоящими указаниями.

Все студенты должны быть ознакомлены (под расписку) с инструкцией по технике безопасности и правилами внутреннего распорядка в лаборатории.

При сборке установки студенты должны обращать особое внимание на выполнение монтажных схем. Монтажную схему следует собирать, используя наименьшее количество соединительных проводов. Все контактные соединения должны быть надежными и выполненными технически грамотно.

Расчеты, основанные на экспериментальных данных, выполняются в лаборатории в процессе работы. Кривые, снятые в лаборатории, вычерчиваются также в процессе работы.

Экспериментальная часть работы считается выполненной после просмотра и утверждения черновика отчета преподавателем.

4. Составление и сдача отчета

Отчет составляется каждым студентом индивидуально и оформляется в соответствии с требованиями стандарта.

В отчете должны быть отражены:

- цель работы;
- результаты расчетов;
- экспериментальная часть работы;
- выводы по выполненной работе.

По результатам выполнения расчетной части составляются и приводятся таблицы, графики, указанные в описании, необходимые расчеты. Расчетам должно предшествовать краткое объяснение методик расчета, расчетные формулы и соотношения с указанием первоисточника. Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, расшифровываются в тексте отчета.

В разделе отчета, посвященном эксперименту, вычерчиваются схемы измерений с кратким объяснением методики эксперимента.

Рисунки и графики выполняются на листах белой или миллиметровой бумаги, помещаются после первого упоминания в тексте или в конце отчета в виде приложения; при размещении в тексте их размер должен быть не менее 10×15 см.

На графике вычерчивается координатная сетка, по осям проставляются изменяющиеся величины с указанием размерности. Рисунки и графики снабжаются подрисовочными подписями.

Каждая таблица снабжается заголовком, в котором указаны ее номер и название.

Значения всех физических величин должны приводиться в единицах СИ или в кратных и дольных от них.

Выводы содержат анализ полученных результатов по всем пунктам задания, объяснение причин отклонения результатов эксперимента от расчетных величин, оценку погрешностей и т. д. Можно указать части работы, вызвавшие затруднения, дать рекомендации по улучшению лабораторного практикума.

В тексте отчета следует по возможности не использовать личные местоимения. Не допускается применять сокращения слов, кроме установленных правилами русского языка.

Лабораторная работа № 1

Измерение параметров сигналов и цепей

1. Цель работы

Целью работы является ознакомление с основными характеристиками и правилами пользования приборами, применяемыми в лабораторном практикуме, а также с устройством лабораторного стенда.

2. Подготовка к эксперименту

- 1) Изучить краткое описание приборов, использующихся в лаборатории.
- 2) Изучить описание лабораторного стенда.
- 3) Изучить описание лабораторной работы и продумать методику выполнения экспериментов.

3. Лабораторное задание

- 3.1. Измерение сопротивлений резисторов
Работа с универсальным вольтметром В7–77.
 - 3.1.1. Подготовить прибор к работе.
 - 3.1.2. Измерить сопротивления резисторов R_1 — R_5 из блока «Простые и сложные цепи». Ручка потенциометра должна быть установлена в положение максимального сопротивления.

3.1.3. Результаты измерений сравнить с номинальными значениями сопротивлений из таблицы данных, находящихся в лаборатории.

3.2. Измерение параметров гармонических колебаний

Работа с генератором GFG-8219A, вольтметром В7–77, осциллографом ОС-5020.

Измерить амплитуду гармонических сигналов двумя способами: при помощи вольтметра и при помощи осциллографа. Измерить период колебаний при помощи осциллографа, рассчитать частоту, сравнить с заданной.

3.2.1. Включить генератор, осциллограф, подготовить их к работе.

3.2.2. Установить частоту колебаний генератора $F = 1$ кГц, амплитуду максимальную.

3.2.3. Измерить напряжение генератора при помощи вольтметра.

3.2.4. Подать сигнал генератора на вход осциллографа, измерить амплитуду и период колебаний. Соединение выхода генератора с входом осциллографа можно выполнить, используя гнезда блока «Простые и сложные цепи».

3.2.5. Зарисовать наблюдающийся сигнал, указать на рисунке масштабы, период и амплитуду.

3.3. Измерение параметров сигналов

Работа с генератором, осциллографом.

Измерить основные параметры импульсных сигналов генератора. Построить графики зависимостей напряжения от времени, указать на них основные параметры.

3.3.1. Установить регулировку уровня выхода генератора в крайнее правое положение, переключатель режима работы — в положение «прямоугольные импульсы», частоту сигнала $F = 1$ кГц.

3.3.2. Измерить основные параметры сигнала (период T , длительность τ , разность между максимальным и минимальным

значениями напряжения U_m). Зарисовать наблюдаемый сигнал с указанием масштабов по осям и основных его параметров.

3.3.3. Повторить пп. 1–2 для следующих режимов работы генератора:

- симметричные треугольные импульсы;
- прямоугольные импульсы с максимальной скважностью;
- прямоугольные импульсы с минимальной скважностью.

Для изменения скважности импульсной последовательности (отношения периода к длительности) вытянуть ручку DUTY на себя, повернуть до упора вправо (максимальная скважность) или влево (минимальная скважность).

3.4. Измерение разности фаз

Работа с генератором и осциллографом.

Измерения разности фаз между двумя напряжениями. Построить графики зависимости разности фаз от частоты.

3.4.1. Собрать схему (рис. 1.1).

3.4.2. Измерить сдвиг фаз между напряжениями U_1 и U_2 на частотах 1, 2, 5, 10, 100 кГц при помощи осциллографа и фазометра.

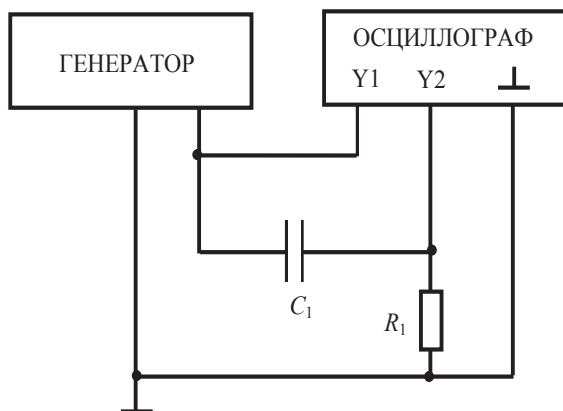


Рис. 1.1. Схема измерения разности фаз между входным напряжением и напряжением на сопротивлении

3.5. Измерение модуля реактивного сопротивления

Измерение сопротивления емкости на разных частотах косвенным методом.

При измерениях на емкость подается напряжение с заданными параметрами, измеряется ток, протекающий через емкость. Модуль сопротивления вычисляется как отношение напряжения к току:

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

3.5.1. Собрать схему (рис. 1.2). Установить амплитуду сигнала близкой к максимальной, измерить ее при помощи вольтметра.

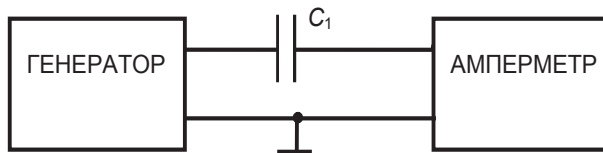


Рис. 1.2. Измерение модуля сопротивления емкости

3.5.2. Измерить ток через емкость на 6–8 частотах в диапазоне от 1 до 100 КГц.

3.5.3. Рассчитать модуль сопротивления емкости, построить график зависимости модуля сопротивления от частоты.

4. Требования к содержанию отчета

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- схемы измерений;
- таблицы результатов измерений и графики по каждому пункту задания;
- выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Объясните назначение органов управления вольтметра В7–77.
2. Опишите порядок подготовки прибора В7–77 к измерению переменного напряжения.
3. Объясните назначение органов управления генератора GFG-8219A.
4. Объясните методику определения амплитуды и длительности импульса с помощью осциллографа OS-5020.
5. Поясните методику определения частоты гармонического сигнала с помощью осциллографа.
6. Поясните методику измерения сдвига фаз с помощью осциллографа.
7. Опишите порядок подготовки к работе осциллографа OS-5020.
8. Поясните методику измерения разности фаз.
9. Поясните методику измерения модуля реактивного сопротивления при помощи вольтметра и амперметра.
10. Изложите основные правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ.

Лабораторная работа № 2

Простейшие электрические цепи при гармоническом воздействии

1. Цель работы

Освоение метода комплексных амплитуд и экспериментальная проверка амплитудных и фазовых соотношений в линейных цепях при гармоническом воздействии.

2. Основные теоретические положения

Гармонические колебания — одна из наиболее распространенных форм тока и напряжения в электрических цепях. При гармоническом воздействии на линейную цепь реакция цепи в установившемся режиме — также гармоническая функция.

Для анализа цепей при гармоническом внешнем воздействии в установившемся режиме практически всегда применяется метод комплексных амплитуд. Комплексная амплитуда — величина, несущая информацию об амплитуде и начальной фазе гармонического колебания. Законы Кирхгофа формулируются не только для мгновенных значений токов и напряжений, но и для комплексных амплитуд и комплексных действующих значений токов и напряжений.

В рамках метода комплексных амплитуд участок цепи можно характеризовать его комплексным сопротивлением (закон Ома в комплексной форме).

Задача анализа цепи в этом случае решается в следующем порядке.

1. Формирование комплексной схемы замещения цепи:
 - переход от мгновенных значений токов и напряжений к их комплексным амплитудам (комплексным действующим значениям);
 - расчет комплексных сопротивлений (проводимостей) элементов.
2. Расчет комплексной схемы замещения:
 - составление системы уравнений электрического равновесия на основе законов Ома и Кирхгофа в комплексной форме;
 - решение системы уравнений и определение комплексных амплитуд (комплексных действующих значений) искомого тока и напряжений;
 - проверка полученных результатов с использованием векторных диаграмм, баланса мощностей, законов Кирхгофа.
3. Переход от комплексных амплитуд (комплексных действующих значений) к мгновенным значениям токов, напряжений.

Метод комплексных амплитуд подробно изложен в литературе, например [1], [2].

Приведем основные расчетные соотношения данного метода.

Связь мгновенного значения напряжения (тока) и комплексной амплитуды:

$$u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi_U) \Leftrightarrow \dot{U}_m = U_m e^{j\varphi_U},$$

где $u(t)$ — мгновенное значение напряжения; U_m — амплитуда напряжения, [В]; ω — круговая частота, [рад/с]; φ_U — начальная фаза, [рад]; \dot{U}_m — комплексная амплитуда, [В].

Связь амплитудных и действующих значений гармонического напряжения: