621.3(07)
С545

№ 5705

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южный федеральный университет»
Инженерно-технологическая академия

Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения

Кафедра электрогидроакустической и медицинской техники

С. С. Снесарев, М. В. Лагута

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу Электротехника и электроника

Часть 1

Ростов-на-Дону – Таганрог
2017

УДК: 621.3 (07.07)+621.38 (07.07)
ББК 31.2я73+32я73
С 545

Рецензент
доктор технических наук, профессор кафедры
ЭГА и МТ *В.А. Воронин*

Снесарев, С.С.
С 545 Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Электротехника и электроника»/ С. С. Снесарев, М. В. Лагута; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог, 2017. – 56 с., 22 ил., 11 табл., – Библиогр.: 6 назв.

Учебно-методическое пособие предназначено для выполнения лабораторных работ по курсу «Электротехника и электроника». Лабораторные работы направлены на закрепление теоретических знаний основных законов и электрических цепей электротехники, на получение навыков сборки электрических схем.

Для студентов направлений подготовки 12.03.01 «Приборостроение», 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии», 26.05.04 «Применение и эксплуатация надводных кораблей и подводных лодок», 17.03.01 «Корабельное вооружение».

УДК: 621.3 (07.07)+621.38 (07.07)
ББК 31.2я73+32я73

© Южный федеральный университет, 2017
© Снесарев С. С., Лагута М. В., 2017

Содержание

Введение ……... 4
Лабораторная работа № 1
Измерения токов, напряжений и сопротивлений цепей ….. 6
Лабораторная работа № 2
Исследование линейных цепей постоянного тока…… 17
Лабораторная работа № 3
Исследование электрической цепи переменного тока…..... 29
Лабораторная работа № 4
Исследование резонанса электрической цепи ……..... 44
Список литературы…….. 55

Общие требования к подготовке, выполнению и защите лабораторных работ

Перед выполнением лабораторных работ по курсу «Электротехника и электроника» каждый студент должен:

– проработать теоретический материал, требуемый для выполнения текущей лабораторной работы;

– ознакомиться со схемой и основными характеристиками лабораторного макета;

– выполнить необходимые домашние расчеты в соответствии с требованиями, изложенными в описании;

– по каждой работе составить отчет, который должен содержать титульный лист, цель выполняемой работы, краткие теоретические сведения, описание лабораторного макета, расчетные формулы, принципиальную схему исследуемой цепи, описание последовательности экспериментальных измерений, результаты домашнего задания.

Отчет выполняется на отдельных листах или в тетради, сдаваемой после окончания цикла лабораторных работ.

В лаборатории перед выполнением первой лабораторной работы студент должен ознакомиться с инструкцией по технике безопасности (ТБ), после чего расписывается в журнале инструктажа по ТБ.

Для получения допуска к выполнению работы каждый студент должен ознакомиться с теоретическим материалом к данной работе, подготовить форму отчета, рассказать о методике проведения лабораторной работы, а также ответить на контрольные вопросы по теоретической части.

Студенты, не допущенные к выполнению работы или пропустившие занятие, выполняют её в специально отведенные часы, получив разрешение и допуск у преподавателя.

После получения допуска студенты, разбившись на подгруппы, собирают исследуемую схему и подключают к ней необходимые измерительные приборы, проверяют правильность всех соединений. Получив разрешение преподавателя, включают лабораторный макет и приступают к выполнению в соответствии с описанием.

Возникающие при исследовании вопросы необходимо сразу выяснить у преподавателя.

После окончания экспериментальных измерений, полученные результаты и построенные на их основе черновые графики, заносятся в отчет и представляются на проверку преподавателю.

Работа считается законченной после проверки преподавателем полученных результатов на стенде, сдачи рабочего места лаборанту и получения в форме отчета подписи преподавателя.

После окончания лабораторной работы студент проводит окончательное оформление отчета, включающее в себя краткие теоретические сведения по работе, ход выполненной работы, сравнение экспериментальных и теоретических зависимостей, составление графиков, обработку осциллограмм, выполнение необходимых расчетов, составление выводов по работе. Отчеты по работе оформляются не на группу, а каждым студентом.

Защита лабораторной работы проводится в отведенное преподавателем время. При защите проверяются правильность оформления и содержание отчета, знание методик расчета и проведения измерений, умение объяснить полученные результаты и дать ответы на контрольные вопросы.

Лабораторная работа № 1

Измерения токов, напряжений и сопротивлений цепей

Цель работы: изучение электроизмерительных приборов и их основных характеристик, освоение методик проведения измерений напряжения, тока и сопротивлений различными приборами, расчет погрешности проведенных измерений.

Основные положения

Измерения – это организованное действие человека, выполняемое для количественного познания свойств физического объекта с помощью определения опытным путем значения какой-либо физической величины.

Измерение электрической величины заключается в сравнении рассматриваемой величины с некоторым ее эталонным значением. Методы электрических измерений подразделяются на методы непосредственной оценки и методы сравнения. Методы непосредственной оценки могут быть прямыми или косвенными и заключаются в том, что об измеряемой величине судят по показаниям одного или нескольких приборов.

Примеры прямого метода – измерение тока амперметром, напряжения – вольтметром и т. д., косвенного – измерение сопротивления амперметром и вольтметром, мощности – амперметром и вольтметром с дальнейшим расчетом требуемой величины.

В силу изменчивости условий измерений никакое измерение не может быть выполнено абсолютно точно. Его результат всегда содержит некоторую ошибку, т.е. мы всегда получаем нужную величину с некоторой погрешностью. Поэтому в задачу измерений входит не только нахождение са-

мой величины, но также и оценка допущенной при измерении погрешности.

Все погрешности измерений делятся на 3 класса: систематические, случайные и промахи.

Систематические погрешности – есть величины постоянные или изменяющиеся по определенному закону. Появление этих погрешностей обусловлено действием вполне определенной величины, например:

– ошибки, природа которых известна: влияние температуры, статистического давления, влияние внутреннего сопротивления источника на величину тока в цепи и т.д. Эти ошибки могут быть устранены введением соответствующих поправок в результаты измерений;

– ошибки известного происхождения, но неизвестной величины и знака. К ним относятся погрешности измерительных индикаторных приборов, определяемые классом точности прибора;

– систематические ошибки, существование которых неизвестно, следовательно, не учтено при постановке эксперимента. Выявить такого рода ошибки можно лишь путем проведения измерений искомой величины другим методом, другим измерительным трактом и при других условиях эксперимента;

– систематические ошибки, обусловленные свойствами измеряемого объекта. Такие ошибки легко можно перевести в разряд случайных ошибок путем усреднения по времени, по ряду измерительных точек некоторой области частот.

Случайная составляющая погрешности измерения не может быть исключена полностью, но её влияние можно уменьшить рациональной обработкой результатов измерения.

Наиболее общей характеристикой случайной величины является плотность распределения вероятностей:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}, \qquad (1.1)$$

где $dF(x)$ – вероятность значений случайной величины x в интервале dx.

Полностью свойства случайной величины описываются функцией распределения $F(x)$, которая определяет вероятность того, что случайная величина x будет меньше x_i:

$$F(x) = P\{X < x\}. \qquad (1.2)$$

Из теории вероятностей известно, что наиболее полно случайные величины характеризуются законами распределения вероятностей.

При малом числе наблюдений n, а оно всегда реально ограничено, пользуются статистическими числовыми характеристиками, называемыми оценками характеристик.

Если получено n измерений какой-либо величины М, то среднее арифметическое значение этой величины:

$$M_{\text{ср}} = \frac{m_1 + m_2 + ... + m_n}{n}, \qquad (1.3)$$

где $m_1 + m_2 + ... + m_n$ – результаты отдельных измерений.

На практике мы всегда имеем дело с конечным числом измерений. Поэтому важно уметь проводить оценку точности результата (среднего арифметического) при ограниченном n.

Чем больше n, тем выше точность. Однако это увеличение точности, начиная с $n > 10$, растет незначительно.

Промахи – грубые погрешности, искажающие результат измерений. Промахи могут быть получены небрежностью оператора, незамеченной неисправностью аппаратуры.

Практическое значение имеют понятия абсолютных и относительных погрешностей.

Абсолютная погрешность – погрешность в единицах измеряемой величины – должна всегда сопровождаться наименованием единиц.

Относительная погрешность – определяется как отношение численного значения абсолютной погрешности к численному значению результата измерений.

Например, если результат измерения представлен как $M = M_{\text{ср}} \pm E$, то соответствующее значение относительной погрешности равно:

$$\gamma = \frac{E}{M_{\text{ср}}} \cdot 100\%, \qquad (1.4)$$

где $M_{\text{ср}}$ – среднее арифметическое ряда измерений;

E– абсолютная вероятная погрешность.

Приборы для измерения электрических величин

Для измерения электрических величин в электротехнике и электронике применяются вольтметры, амперметры, ваттметры, омметры и гальванометры.

В зависимости от принципа действия измерительные приборы классифицируются на системы:

– магнитоэлектрические;

– электромагнитные;

– электродинамические;

– электромагнитные с преобразователями и др.

Приборы могут быть магнитоэлектрической и электромагнитной системы, электронными, цифровыми.

Классы точности

Класс точности – это относительная приведенная измерения к концу шкалы погрешность. Например, для прибора кл.1,5 при шкале 100 мВ, δ = 1,5%. Таким образом, абсолют-

ная погрешность составит $\Delta = 1{,}5$ мВ, а результат измерения $U = (65 \pm 1{,}5)$ мВ (при показаниях на шкале прибора 65мВ).

Наиболее широко применяемые в практических измерениях классы точности – 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0.

Измерения тока

Для измерения тока используются амперметры рассмотренных выше систем. Амперметр включается последовательно в ветвь, ток которой необходимо измерить. Сопротивление амперметра должно быть малым по сравнению с сопротивлением цепи. При частотах свыше 400 Гц обычные амперметры дают большую погрешность, поэтому измерение тока можно заменить измерением напряжения на калиброванном сопротивлении, включенном последовательно.

Измерения напряжения

Напряжение между двумя любыми точками цепи измеряется с помощью вольтметра, подключенного к этим точкам. Для цепей с маломощными источниками звуковой и сверхзвуковой частоты используются электронные вольтметры.

Сопротивление вольтметра должно быть на порядок выше по сравнению с сопротивлением измеряемой цепи.

Электронный милливольтметр представляет собой совокупность измерительной электронной схемы и стрелочного или цифрового измерительного прибора. Электронные вольтметры позволяют проводить измерения напряжения от единиц милливольт до сотен вольт в широком диапазоне частот (от десятков Герц до единиц МГц) практически без отбора мощности из цепи, в которой проводятся измерения.

ИЗМЕРЯТЬ НАПРЯЖЕНИЕ В СЕТИ ЭЛЕКТРОННЫМ МИЛЛИВОЛЬТМЕТРОМ ЗАПРЕЩЕНО.

Мультиметр

Мультиметр – многофункциональный измерительный прибор для измерения тока, напряжения, сопротивления, емкости. В настоящее время широкое применение получили цифровые мультиметры – комбинированные цифровые измерительные приборы, позволяющие измерять постоянное и переменное напряжение, постоянный переменный ток, сопротивления, поверять диоды и транзисторы.

Наибольшее распространение в цифровых отсчетных устройствах мультиметров получили жидкокристаллические, газоразрядные и светодиодные индикаторы.

К основным техническим характеристикам цифровых приборов, которые необходимо учитывать при выборе, относятся:

– диапазон измерений (обычно прибор имеет несколько поддиапазонов);

– разрешающая способность, под которой часто понимают значение измеряемой величины, приходящееся на единицу дискретности, т.е. один квант;

– входное сопротивление, характеризующее собственное потребление прибором энергии от источника измерительной информации;

– погрешность измерения, часто определяемая как +, – (% от считываемых данных + количество единиц разряда).

Мультиметр часто имеет батарейное питание 9 В, поэтому перед использованием прибора необходимо проверить батарею электропитания путем включения прибора.

Цифровые электроизмерительные приборы имеют высокую точность (погрешность от 0,1 до 1%), большое быстродействие, широкие пределы измерений, легко комплектуются с ЦВМ, которые передают результаты без искажений на неограниченные расстояния.

Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд многофункциональный и предназначен для исследования различных электронных приборов и схем при проведении лабораторных работ по курсу «Электротехника и электроника». Внешний вид и расположение блоков стенда приведены на рис. 1. Он состоит из наборного поля, на котором устанавливаются трафареты исследуемых схем, блока питания (БП), генератора прямоугольных импульсов (ГПИ), генератора низкой частоты (ГНЧ), генератора высокой частоты (ГВЧ) и измерительной стойки, включающей в себя АВМ1 (ампервольтметр), АВО (авометр), АВМ2, МВ (милливольтметр), ЧМ (частотомер) и ИВ (измеритель выхода).

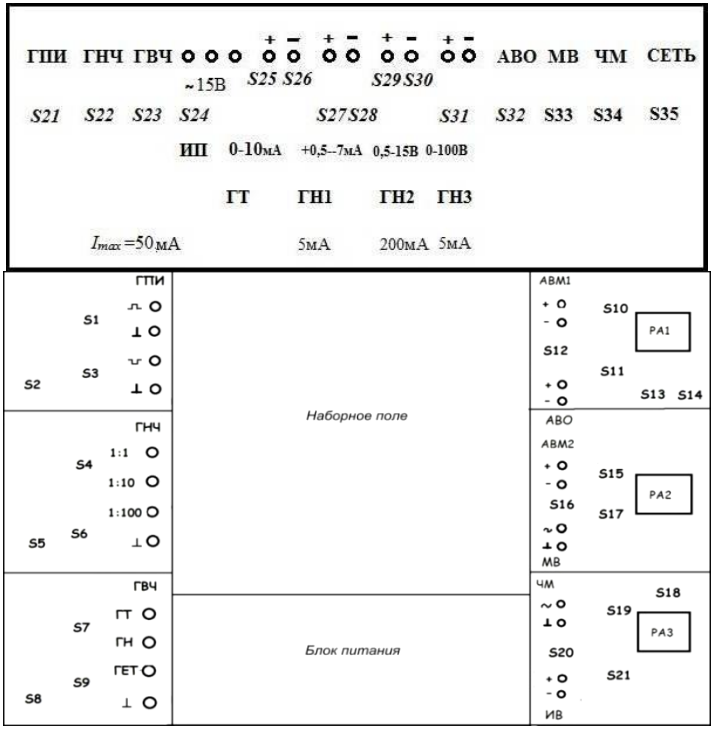


Рис. 1. Схема расположения блоков лабораторного стенда

Включение стенда в сеть 220 В, 50 Гц производится тумблером *S*35. Тумблеры *S*21-*S*23, *S*32-*S*34 предназначены для подачи питания напряжения на те блоки стенда, которые используются при выполнении конкретной лабораторной работы. Параметры питающих напряжений и токов, подаваемых на исследуемые схемы и устанавливаемые регуляторами *S24*-S31, имеют следующие значения:

ИП – переменное напряжение 50 Гц, 15 В+15%;

ГТ – постоянный стабилизированный ток 0 – 10 мА;

ГН1 – постоянное стабилизированное напряжение от 0,5 до минус 7 В, I_{max}– 5 мА;

ГН2 – постоянное напряжение 0,5 – 15 В, I_{max}– 200 мА;

ГН3 – постоянное напряжение 0 – 100 В, I_{max}= 5 мА.

Ампервольтметр (АВМ1) и авометр (АВО) имеют общий стрелочный прибор РА1, переключаемый при работе с выхода АВМ1 и АВО тумблером *S*12. Переключатели *S*10 и *S*11 изменяют пределы измерений АВМ1 и АВО.

Ампервольтметр (АВМ2) и милливольтметр (МВ) имеют также общий стрелочный прибор РА 2, переключаемый тумблером *S*16. АВМ2 используется для измерения постоянных токов и напряжений, а МВ для измерения переменных напряжений (на пределах от 5 мВ до 1 В с частотой до 40 кГц и на остальных пределах – до 200 кГц). Переключатели *S*15 и *S*17 изменяют предел измерений.

Порядок выполнения работы

1. Изучить описание стенда и измерительных приборов, используемых в лабораторной работе. Паспортные данные источников питания ГТ, ГН1, ГН2, ГН3 занести в табл.1.

2. Провести измерения тока и напряжений стабилизированных источников питания ГТ, ГН1, ГН2, ГН3.

Для измерения параметров ГТ используем миллиамперметр АВМ1 или АВМ2, предварительно выбрав предел 10 мА. Устанавливаем регуляторы «грубо» и «точно» в левое положение. Подключаем с помощью соединительных проводов ГТ к миллиамперметру, соблюдая полярность: плюс к плюсу, минус к минусу. Вращая регуляторы «грубо» и «точно» изменяем ток. Результаты измерений занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Результаты измерения параметров

Источник питания	Паспортные данные	Результаты измерений		Заключение о соответствии
		АВМ	мультиметр	
ГТ	0 ÷ 10 мА			
ГН1	0,5 ÷ (-7) В			
ГН2	0,5 ÷ 15 В			
ГН3	0 ÷ 100			

Для измерения параметров ГН1 используем милливольтметр АВМ1 или АВМ2, предварительно установив предел 25 В. Устанавливаем регуляторы «грубо» и «точно» в левое положение, а переключатель АВМ в положение измерения напряжений.

Подключаем милливольтметр АВМ1(2) с помощью соединительных проводов к гнездам ГН1 соблюдая полярность: плюс к плюсу, минус к минусу. Плавно вращая регуляторы «грубо» и «точно» и переключая пределы и полярность на АВМ, провести измерения напряжений. Данные измерений занести в табл. 1.

Аналогично проводятся измерения напряжений ГН2 и ГН3. Данные измерений занести в табл. 1.

ВНИМАНИЕ! Не допускается перепутывание полярности и измерения на пределах, ниже величины измеряемой величины – это приводит к выходу прибора из строя.

3. Провести измерения тока и напряжений стабилизированных источников питания ГТ, ГН1, ГН2, ГН3 с помощью тестера или мультиметра. Измерения проводить, выбрав соответствующий вид работы прибора и предел измерения.

4. Рассчитать погрешности измерений тока и напряжений по классу точности используемого прибора.

5. Провести измерения различных величин резисторов, заданных преподавателем с помощью мультиметра или универсального вольтметра. Данные занести в табл.1.2.

Таблица 1.2

Результаты измерений резисторов

R	Паспортные данные	Результаты измерений	Погрешность, Δ	Заключение
1				
2				
3				
4				

6. Рассчитать погрешности измерений сопротивлений с помощью мультиметра и универсального вольтметра. Дать заключение о погрешностях примененных приборов.

Содержание отчета

1. Цель работы и краткие теоретические сведения.
2. Состав и назначение основных блоков стенда, их технические характеристики.
3. Перечень используемых измерительных приборов с указанием их пределов измерения и цены деления шкал.
4. Таблицы результатов измерений и расчетных параметров.
5. Выводы и заключение.

Контрольные вопросы

1. Рассказать об устройстве и принципе работы измерительных приборов. Классы точности.

2. Основные параметры и назначение ГТ, ГН1, ГН2, ГН3 измерительного стенда.

3. Основные параметры и назначение мультиметра.

4. Электронные вольтметры, их назначение, основные характеристики.

5. Техника безопасности при работе с приборами. Почему нельзя измерять напряжение сети электронным вольтметром?

6. Какой прибор используется для измерения мощности? Принцип его работы.

7. Назовите прямые и косвенные методы измерения электрических величин.

8. Основные характеристики электроизмерительных приборов. Показать, как изменяется $R_{вн}$ прибора от предела измерений.

9. Электронные осциллографы, их назначение, основные характеристики.

10. Объясните принцип работы приборов электродинамической системы.

11. Объясните принцип работы приборов электромагнитной системы.

12. Погрешности измерений и классы приборов.

13. Методы измерения тока в электрических цепях.

14. Измерения напряжений в электрических цепях.

Лабораторная работа № 2

Исследование линейных цепей постоянного тока

Цель работы: приобретение навыков сборки простых электрических цепей постоянного тока и подключения к электрической цепи измерительных приборов. Используя законы Ома и Кирхгофа, провести расчет токов и напряжений цепи с включенными резисторами, измерить токи и напряжения в цепи и на резисторах.

Основные положения

Электрическая цепь постоянного тока

Электрическая цепь постоянного тока состоит из источника электрической энергии, приемника электрической энергии и линейных соединительных проводов (рис. 2.1). Вместо слов «приемник энергии» в литературе чаще встречается другое название – «потребитель энергии», «нагрузка источника».

Приведем несколько примеров электрических цепей:

• источник электрической энергии – электрохимический элемент G (рис. 2.2, а) или электрохимическая батарея GB (рис. 2.2, б). Приемник электрической энергии – резистор R (рис. 2.2, а) или электрическая лампа накаливания EL (рис. 2.2, б);

• в некоторых случаях источник энергии становится приемником энергии, например, аккумулятор в режиме подзарядки (рис. 2.2, в).

Для автономного питания радиоэлектронной аппаратуры наиболее широко используются электрохимические источники тока – гальванические элементы и батареи, а также аккумуляторы. Наибольшее распространение получили элементы 373 (а), 343 (б) и 316 (д). Они различаются размерами и емкостью, исчисляемой в ампер-часах.

При одних и тех же условиях эксплуатации химические элементы большей емкости обеспечивают питание устройства более продолжительное время.

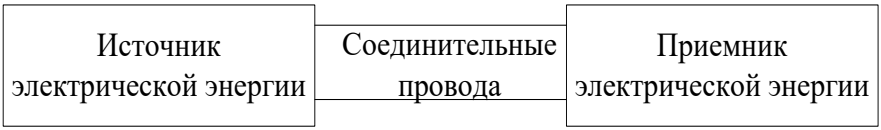


Рис. 2.1. Общий вид соединения элементов электрической цепи

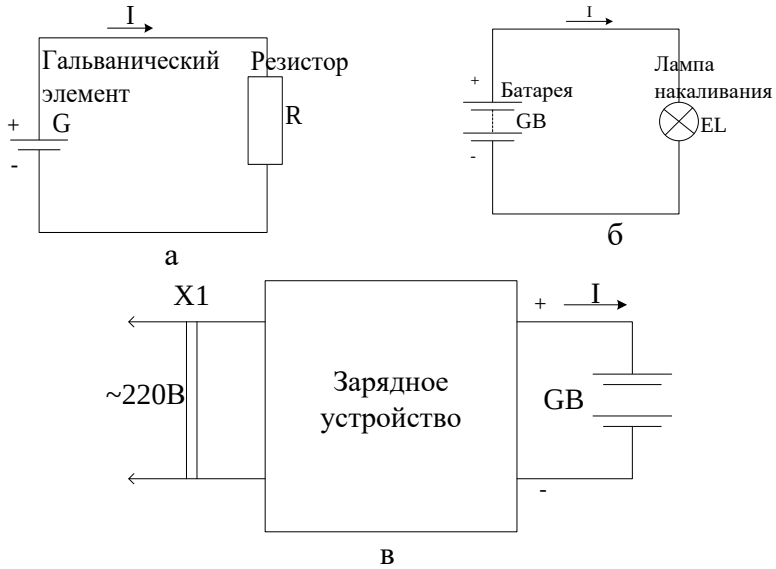


Рис. 2.2. Различные виды электрических цепей

Расчет и анализ электрических цепей проводится с использованием закона Ома и законов Кирхгофа. На основе этих законов устанавливается взаимосвязь между значениями токов, напряжений, всей электрической цепи и отдельных ее участков.

Закон Ома для участка цепи

Соотношение между током I, напряжением U_R и сопротивлением R участка ab электрической цепи (рис. 2.3) выражается законом Ома для участка цепи:

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

где U – напряжение, В;

R – сопротивление, Ом;

I – сила тока, А.

Закон Ома для всей цепи

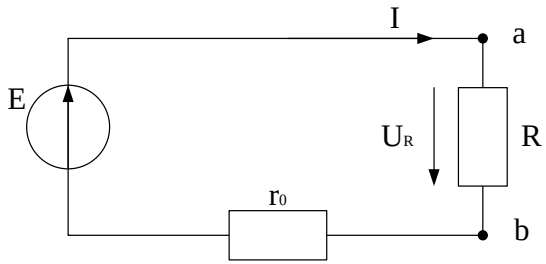


Рис.2.3. Электрическая цепь с r_0 источника напряжения

Закон Ома для всей цепи определяет зависимость между ЭДС E источника питания с внутренним сопротивлением r_0 (рис. 2.3.), током I электрической цепи и общим эквивалентным сопротивлением $R_Э = r_0 + R$:

$$I = \frac{E}{R_Э} = \frac{E}{r_0 + R}. \qquad (2.1)$$

Сложная электрическая цепь содержит, как правило, несколько ветвей, в которые могут быть включены свои источники питания и режим ее работы не может быть описан только законом Ома. Но это можно выполнить на основании первого и второго законов Кирхгофа, являющихся следствием закона сохранения энергии.

Первый закон Кирхгофа

В любом узле электрической цепи алгебраическая сумма токов равна нулю:

$$\sum_{K=1}^{n} E_K = \sum_{K=1}^{m} R_K I_K = \sum_{K=1}^{m} U_K, \qquad (2.2)$$

где n – число источников напряжений в контуре;

m – число элементов с сопротивлением $R_к$ в контуре;

$U_к = R_к \cdot I_к$ – напряжение или падение напряжения на $к$-м элементе контура.

При записи уравнений по первому закону Кирхгофа токи, направленные к узлу, берут со знаком «плюс», а токи, направленные от узла – со знаком «минус».

Если в электрической цепи включены источники напряжений, то второй закон Кирхгофа формулируется в следующем виде: алгебраическая сумма напряжений на всех элементах контура, включая источники ЭДС равна нулю:

$$\sum_{K=1}^{m} U_K = 0. \qquad (2.3)$$

При записи уравнений по второму закону Кирхгофа необходимо:

1) задать условные положительные направления токов и напряжений;

2) выбрать направление обхода контура, для которого записывается уравнение;

3) записать уравнение, пользуясь одной из формулировок второго закона Кирхгофа, причем слагаемые, входящие в уравнение, берут со знаком «плюс», если их условные положительные направления совпадают с обходом контура, и со знаком «минус», если они противоположны.

Способы соединения элементов электрической цепи

Элементы в электрических цепях (резисторы, катушки, конденсаторы) могут быть соединены последовательно, па-

раллельно, по смешанной схеме и по схемам «звезда», «треугольник». Расчет сложной схемы упрощается, если сопротивления в этой схеме заменяются одним эквивалентным сопротивлением $R_{экв}$, и вся схема представляется в виде схемы на рис. 2.4, где $R = R_{экв}$, а расчет токов и напряжений производится с помощью законов Ома и Кирхгофа.

Электрическая цепь с последовательным соединением элементов

Последовательным называют такое соединение элементов цепи, при котором во всех включенных в цепь элементах проходит один и тот же ток I.

На основании второго закона Кирхгофа общее напряжение U всей цепи равно сумме напряжений на отдельных участках:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \text{ или } I \cdot R_{экв} = IR_1 + IR_2 + IR_3, \qquad (2.4)$$

откуда следует

$$R_{экв} = R_1 + R_2 + R_3. \qquad (2.5)$$

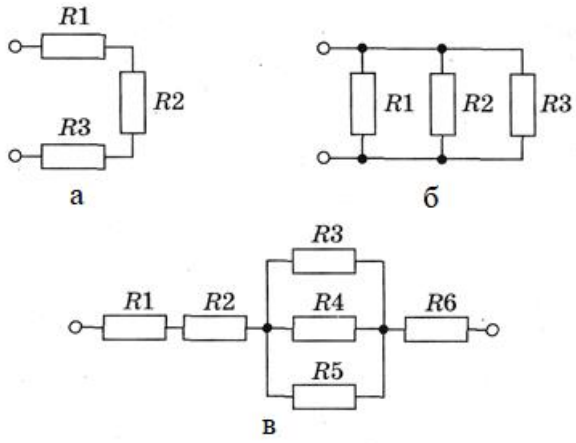


Рис. 2.4. Схемы соединения резисторов: а – последовательное соединение; б – параллельное соединение; в – смешанное соединение

Электрическая цепь с параллельным соединением элементов

Параллельным называют такое соединение, при котором все включенные в цепь потребители электрической энергии находятся под одним и тем же напряжением.

В этом случае они присоединены к двум узлам цепи a и b, и на основании первого закона Кирхгофа можно записать, что общий ток I всей цепи равен алгебраической сумме токов отдельных ветвей:

$$I = I_1 + I_2 + I_3, \tag{2.6}$$

$$\text{т.е. } \frac{U}{R_{\text{экв}}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \tag{2.7}$$

В том случае, когда параллельно включены два сопротивления R_1 и R_2, они заменяются одним эквивалентным сопротивлением:

$$R_{\text{экв}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \tag{2.8}$$

Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд многофункциональный и предназначен для исследования различных электронных схем при проведении лабораторных работ по курсу «Электротехника и электроника». Внешний вид и расположение блоков стенда приведены в лабораторной работе №1 на (рис. 2). На стенде расположены резисторы различных номиналов, требуемые для сборки схемы. В качестве источника питания необходимо использовать источник, обеспечивающий напряжение питания, заданное в задании к варианту. Для измерения тока и напряжения необходимо выбрать АВМ1 или АВМ2, согласно рассчитанным значениям.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Подготовка к измерениям

1.1. Выбрать значения элементов резисторов и напряжения источника питания согласно заданному варианту (табл.2.1).

Таблица 2.1

Исходные данные

Вар.	1	2	3	4	5
E, В(посл.)	8	10	19	17	15
E,В(парал.,смеш.)	2	3	5	4	3
R1,кОм	1	1.2	0.33	1.6	0.33
R2,кОм	0.3	0.3	4.3	0.33	1
R3,кОм	0.2	0.2	1	1.2	0.2
R4,кОм	8.2	6.8	10	15	6.8
Вар.	6	7	8	9	10
E, В(посл.)	16	14	18	20	25
E,В(парал.,смеш.)	4	3	5	5	5
R1,кОм	3	1	1.6	4.3	0.33
R2,кОм	0.2	1.2	1	1.2	4.3
R3,кОм	0.3	0.33	0.2	0.33	0.2
R4,кОм	8.2	15	10	6.8	8.2

1.2. Зарисовать в отчет схемы соединений, приведенные на рис. 2.5. Рассчитать силу тока и напряжение в цепи на каждом резисторе и ток в каждой ветви, для различных типов соединений, согласно схемам, представленным на рис. 2.5.

Результаты результатов занести в табл. 2, 3, 4 в соответствующие графы.

1.3. Подготовить источники питания и измерительные приборы к работе. Для этого становить ручки генераторов в левое положение. Включить стенд, дать ему прогреться в течение 15 минут. Установить максимальные пределы измерения на амперметре и вольтметре.

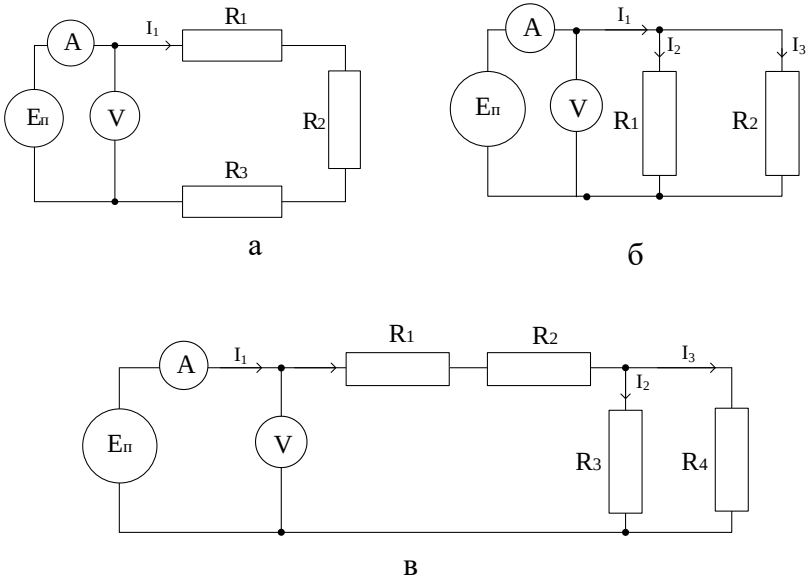


Рис. 2.5. Схемы соединений элементов цепи: а – последовательное, б – параллельное, в – смешанное

2. Измерения параметров цепи с последовательным соединением резисторов

2.1. Собрать схему (рис. 2.5, а), подключить амперметр и вольтметр. При подключении измерительных приборов соблюдать полярность: плюс – к плюсу, минус – к минусу. Подать на схему напряжение от ГН.

2.2. Измерить ток и напряжение в цепи, а также напряжения на каждом резисторе. Провести измерения не менее 3-х раз, результаты измерений занести в табл. 2.2.

2.3. Рассчитать усредненное значение каждого измеренного параметра. Результат занести в табл. 2.2.

2.4. Рассчитать абсолютную Δ и относительную δ погрешности измерений Δ, дать заключение о проведенных измерениях. При оценке погрешностей за эталонные принять

расчетные значения измеряемой величины. Результат занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Последовательное соединение

Расчетные значения		U, В	I_1, мА	$U(R_1)$, В	$U(R_2)$, В	$U(R_3)$, В
измерения	1					
	2					
	3					
	среднее значе-ние					
погреш-ность	Δ					
	δ					

2.5. Провести анализ полученных результатов и дать заключение о их соответствии.

3. Измерение параметров цепи с параллельным соединением резисторов

3.1. Собрать схему, представленную на рис. 2.5, б, подключить амперметр и вольтметр. При подключении измерительных приборов соблюдать полярность: плюс – к плюсу, минус – к минусу. Подать на схему напряжение от ГН2.

3.2. Измерить ток и напряжение в цепи, а также ток в каждом участке цепи. Провести измерения не менее 3-х раз, результаты измерений занести в табл. 2.3.

3.3. Рассчитать усредненное значение каждого измеренного параметра. Результат занести в табл. 2.3.

3.4. Рассчитать абсолютную Δ и относительную δ погрешности измерений Δ аналогично п. 2.4. Результат занести в табл.2.3.

3.5. Провести анализ полученных результатов и дать заключение о их соответствии.

Таблица 2.3

Параллельное соединение

Расчетные значения		U, В	I_1, мА	I_2, мА	I_3, мА
измерения	1				
	2				
	3				
	среднее значение				
погреш-ность	Δ				
	δ				

4. Измерение параметров цепи со смешанным соединением резисторов

4.1. Собрать схему, представленную на рис. 2.5, в, подключить амперметр и вольтметр. При подключении измерительных приборов соблюдать полярность: плюс – к плюсу, минус – к минусу. Подать на схему напряжение от ГН.

Таблица 2.4

Смешанное соединение

Расчетные значения		U, В	I_1, мА	I_2, мА	I_3, мА	U (R_1), В	U (R_2), В
измерения	1						
	2						
	3						
	среднее значение						
погреш-ность	Δ						
	δ						

4.2. Измерить ток и напряжение в каждой цепи и на резисторах R_1 и R_2. Провести измерения не менее 3-х раз, результаты измерений занести в табл. 4.

4.3. Рассчитать усредненное значение каждого измеренного параметра. Результат занести в табл.4.

4.4. Рассчитать абсолютную Δ и относительную δ погрешности измерений аналогично п. 2.4. Результат занести в табл.4.

4.5. Провести анализ полученных результатов и дать заключение о их соответствии.

Содержание отчета

1. Цель работы, краткие теоретические сведения.
2. Схемы электрические цепей с различными видами соединений резисторов.
3. Расчеты токов и напряжений для каждого вида соединений и значения рассчитанных величин.
4. Перечень используемых измерительных приборов с указанием их пределов измерения и цены деления шкал.
5. Таблицы результатов измерений, расчет погрешности измерений и заключения по каждому виду измерений.
6. Выводы и заключение.

Контрольные вопросы

1. Дать определение электрической цепи. Основные компоненты электрической цепи.
2. Закон Ома для участка цепи.
3. Закон Ома для полной цепи.
4. Внутреннее сопротивление источников тока и напряжения.
5. Виды соединений электрических цепей.
6. Расчет комплексных сопротивлений для различных видов соединений в случае соединения резисторов, катушек, конденсаторов.
7. Законы Кирхгофа.

8. Расчет основных параметров электрической цепи при последовательном соединении.

9. Расчет основных параметров электрической цепи при параллельном соединении.

10. Расчет основных параметров электрической цепи при смешанном соединении.

11. Расчет погрешности измерений тока, напряжения.

12. Внутреннее сопротивление амперметра на различных пределах и его влияние на точность измерений.

13. Внутреннее сопротивление вольтметра на различных пределах и его влияние на точность измерений.

14. Электрическая цепь со смешанным соединением. Закон Ома для участка цепи и для полной цепи.

15. Источники тока и напряжения, их внутренние сопротивления. Влияние $R_{вн}$ на ток в нагрузке.

Лабораторная работа 3

Исследование электрической цепи переменного тока

Цель работы: закрепить основные теоретические положения по теме переменного тока, получение навыков расчета и измерения параметров простых электрических цепей переменного тока.

Краткие теоретические сведения

Источники синусоидальных (гармонических) ЭДС находят на практике широкое применение как источники электрической энергии благодаря ряду достоинств синусоидальных сигналов. Выделим четыре достоинства:

1) простой способ формирования синусоидальной ЭДС;

2) простой способ трансформации величины напряжения;

3) простой способ формирования вращающего электромагнитного поля с целью преобразования электроэнергии в механическую энергию;

4) простой способ преобразования переменного напряжения в постоянное напряжение.

Переменный ток синусоидальной формы. Основные параметры

Если в источниках постоянного тока – гальванических элементах, батарейках, аккумуляторах – сила тока (напряжение, ЭДС) не меняют своего направления, ток во внешней цепи всегда течет от положительного зажима к отрицательному, то в источнике переменного тока, который, например, вырабатывает напряжение для городской сети, ток много раз в секунду (50 раз) меняет своё направление и величину (рис.3.1).

Этот ток изменяется по синусоидальному (гармоническому) закону.

Синусоидальные ЭДС формируются с помощью электрических машин. Электрическая машина – это устройство, которое может работать или в качестве генератора электроэнергии, или в качестве электродвигателя.

На статоре (неподвижной части электрической машины) симметрично располагаются две включенные последовательно катушки, а между ними на вращающемся роторе располагается постоянный магнит. При вращении постоянного магнита на катушках будет наводиться ЭДС *e(t),* которая меняется по гармоническому закону (рис. 3.1).

Если постоянный магнит будет вращаться со скоростью 3000 оборотов в минуту, в катушках будет наводиться ЭДС синусоидального вида, частота которой равна 50 Гц.

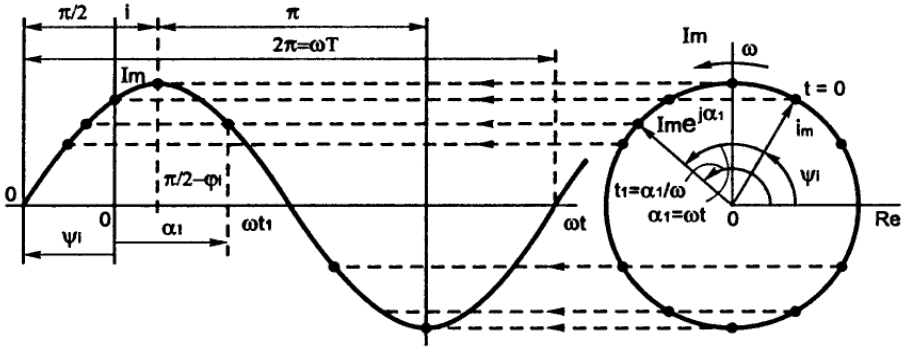


Рис. 3.1. Принцип работы генератора временного тока

При равномерном вращении ротора в обмотках статора наводится ЭДС:

$$e = E_m Sinwt = E_m Sin2pnt, \qquad (3.1)$$

где $E_м$ – максимальное значение ЭДС; n – число оборотов ротора в секунду.

Частота ЭДС равна: $f = n \cdot p$, где p – число пар полюсов.

Если для характеристики постоянного тока достаточно знать напряжение на зажимах источника и его полярность, то для характеристики переменного тока этого недостаточно. Переменный ток характеризуют такими параметрами, как амплитуда, частота, период, фаза, мгновенное и действующее значение.

Так как сила тока (напряжение, ЭДС) меняется во времени, то мгновенное значение и амплитуда говорят о его возможностях в данный момент времени. Чтобы знать возможности переменного тока за длительный промежуток времени, говорят о его действующем значении. А чтобы судить о том, насколько быстро ток меняется во времени, как часто происходит смена его направления, используют такие параметры как период и частота (рис. 3.2).

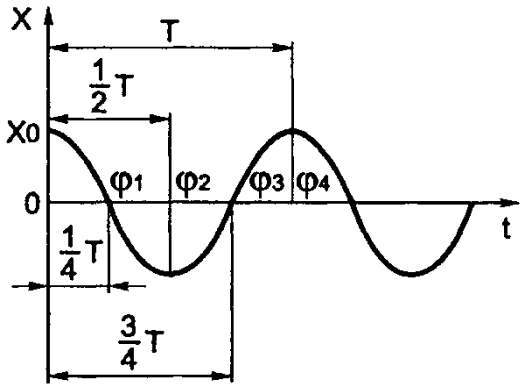


Рис. 3.2. Основные временные параметры синусоидального сигнала

Период тока указывает время, в течение которого происходят все его возможные изменения без повторения. Обозначается буквой Т, измеряется в секундах(с), миллисекундах(мс), микросекундах (мкс).

Частота тока говорит о том, сколько периодов, т.е. полных циклов, укладывается в единицу времени, в частности, в секунду. Обозначается буквой f и измеряется в герцах (Гц) – числом периодов в секунду и рассчитывется, согласно 3.2:

$$1Гц = \frac{1период}{1c} = 1\frac{1}{c}$$
$$f_{(Гц)} = \frac{1}{T_{(c)}}; T_{(c)} = \frac{1}{f_{(Гц)}} \qquad (3.2)$$

Вместо частоты f часто применяют величину $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$, которую называют круговой частотой тока (напряжения, ЭДС). Она представляет собой число полных колебаний (периодов) тока за 2π секунд.

Максимальное значение силы тока, которое может иметь переменный ток за период, называется амплитудой силы тока. Амплитудное значение силы тока обозначается I_m, напряжения U_m, ЭДС E_m, а их мгновенные значения – i, u, e соответственно.

Когда говорят об одном синусоидальном токе (напряжении, ЭДС), то частота f и амплитуда I_m являются исчерпывающими характеристиками, потому что начальный момент отсчёта времени на графике мы можем выбрать произвольно. Но когда приходится сопоставлять друг с другом две или несколько величин (силы тока, напряжение, э.д.с) одной и той же частоты, следует учитывать, что они могут достигать своего максимального значения не в один и тот же момент времени. В подобных случаях говорят, что эти два тока (напряжения) сдвинуты относительно друг друга по фазе или, что равносильно, что между ними существует некоторый сдвиг фаз. На рис. 3.3 показаны две синусоиды одинаковой частоты, сдвинутые относительно друг друга на

четверть периода $\frac{T}{4}$. Синусоида 1 опережает синусоиду 2 на время $\frac{T}{4}$.

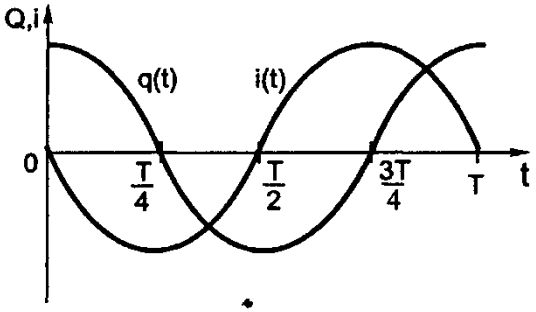


Рис. 3.3. Две синусоиды одинаковой частоты, сдвинутые друг относительно друга на четверть периода

Связь периода с угловыми градусами показана на рис.3.4.

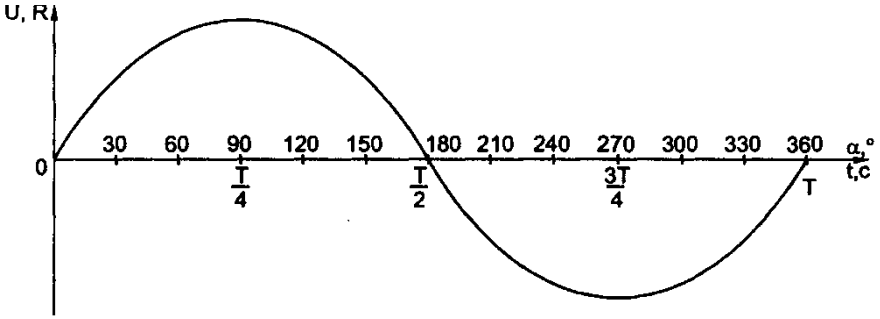


Рис. 3.4. Связь времени с угловыми градусами

Кроме амлитудных значений тока и напряжения введено понятие действующего значения синусоидального тока и напряжения, которое определяет его значение за длительный промежуток времени (рис.3.5).

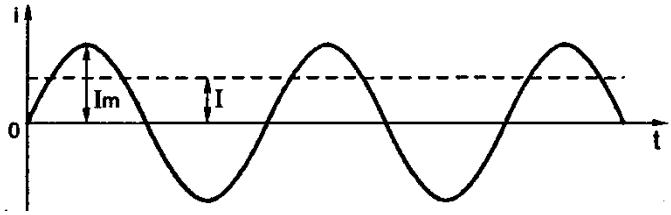


Рис. 3.5. Действующее значение синусоидального тока

Для синусоидального тока действующее значение силы тока равно:

$$I = I_m / \sqrt{2} = I_m / 1.414 = 0.707 \cdot I_m. \qquad (3.3,а)$$

Аналогично для напряжения и ЭДС:

$$U = 0.707 \cdot U_m, \qquad (3.3,б)$$

$$E = 0.707 \cdot E_m. \qquad (3.3,в)$$

Зная действущее значение силы тока I (напряжения U, ЭДС E), которую можно измерить амперметром переменного тока, можно вычислить его амплитудное значение:

$$I_m = I \cdot \sqrt{2} = 1.414 \cdot I, \qquad (3.4, а)$$

$$U_m = 1.414 \cdot U, \qquad (3.4,б)$$

$$E_m = 1.414 \cdot E. \qquad (3.4,в)$$

Так амплитудное значение напряжения сети 220 В равно:

$$U_m = U \cdot 1.414 = 220 \cdot 1.414 = 311 \text{ В}. \qquad (3.5)$$

Все амперметры, вольтметры переменного тока калибруются на синусоидальном токе (напряжении); для переменного тока другой формы показания этих приборов

нужно корректировать. Например, для переменного тока треугольной формы (рис.3.8, б) соотношение между действующим и амплитудным значениями определяется по формулам:

$$I = I_m / \sqrt{3} = 0.5771 \cdot I_m, \qquad (3.6, а)$$

$$I_m = 1.732 \cdot I. \qquad (3.6, б)$$

Элементы R, L, C в электрических цепях с синусоидальными источниками

Любая электрическая цепь переменного тока обладает четырьмя основными параметрами: активным сопротивлением R, индуктивностью L, взаимной индуктивностью M и емкостью C. Сопротивление R характеризует способность устройства преобразовывать электрическую энергию в другой вид энергии (тепловую, механическою, световую, химическую и т. д.).

Резистор – компонент электрической цепи, основным назначением которого является оказывать сопротивление протекающему через него току с целью регулирования или ограничения величины тока или напряжения. В резисторе осуществляется преобразование электрической энергии в тепловую. Резистор характеризуется величиной активного или омического сопротивления R.

Для резистора справедлива линейная зависимость между током и напряжением, что заметил Ом: $U = R \cdot I$. Рассеиваемая на резисторе мощность P называется активной и определяется из предложенных ниже формул:

$$P = U \cdot I,\ P = I^2 \cdot R,\ P = U^2 / R. \qquad (3.7)$$

На схемах сопротивление обозначается R и измеряется в омах [Ом]. Условное обозначение на схемах представлено на рис. 3.6.

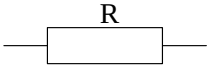


Рис. 3.6. Условное обозначение резистора

Конденсатор – компонент электрической цепи, способный накапливать электрический заряд Q, электрическую энергию. Конденсатор характеризуют электрической ёмкостью C, которую измеряют в фарадах, микрофарадах (мкФ), нанофарадах (нФ) и пикофарадах (пФ). Между накопленным на конденсаторе зарядом и наблюдаемым на выводах конденсатора напряжением U_c существует связь, описываемая следующей формулой:

$$U_C \cdot C = Q. \tag{3.8}$$

Если напряжение на конденсаторе и ток меняются во времени, то используем строчные буквы для обозначения переменных и определим величину приращения напряжения на конденсаторе как функцию приращения заряда, согласно формуле:

$$C \cdot du_C = dq. \tag{3.9}$$

Поскольку между зарядом и током существует зависимость: $dq = i(t) \cdot dt$, то взаимосвязь мгновенных значений тока через конденсатор и напряжения на конденсаторе легко установить, согласно формуле:

$$u_c(t) = (1/C) \cdot \int_0^t i(t)dt + u_c(0). \tag{3.10}$$

Физически конденсатор представляет две металлические пластины, разделённые диэлектриком. Условное обозначение конденсаторов на схеме представлено на рис. 3.7.

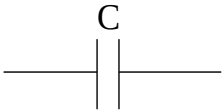


Рис. 3.7. Условное обозначение конденсатора

Катушка индуктивности или индуктивная катушка – катушка из провода с изолированными витками, обладающая значительной индуктивностью, т.е. способностью накапливать магнитное поле, при сравнительно малых значениях ёмкости и активного сопротивления провода катушки. Катушка индуктивности характеризуется значением индуктивности L, которую измеряют в генри (Гн), миллигенри и микрогенри. Изменение тока через катушку вызывает наведение на выводах катушки электродвижущей силы e_L, которая противодействует изменению тока, пытается сохранить неизменным ток через катушку. Взаимосвязь между ЭДС и током в катушке определяется выражением:

$$e_L = -L \cdot \frac{dl}{dt}. \qquad (3.11)$$

Физически катушки выполняются изолированным проводом, намотанным с максимально близким расположением витков с целью повышения величины индуктивности, но может быть конструктивно выполнена другим образом, например, как печатный проводник. Условное обозначение катушки индуктивности на схемах предложено на рис. 3.8.

Рис. 3.8. Условное обозначение катушки индуктивности

Расчет параметров цепей переменного тока

Сопротивления элементов *R, L, C* в цепи переменного тока рассчитываются по закону Ома.

Для активного сопротивления $r = U_m/I_m$,

Реактивные сопротивления конденсатора и катушки индуктивности определяются по ниже приведенным формулам.

Реактивное сопротивление катушки X_L,Ом, определяется по формуле:

$$x_L = i\omega L, \qquad (3.12)$$

где ω – круговая частота источника, рад;

L – индуктивность катушки, Гн.

Реактивное сопротивление конденсатора X_C определяется по формуле:

$$x_C = \frac{1}{i\omega C}, \qquad (3.13)$$

где C – емкость конденсатора, Ф.

Полное сопротивление цепи в цепи переменного тока определяется по формуле:

$$z = \sqrt{r^2 + \left(x_L - x_C\right)^2}. \qquad (3.14)$$

Зная реактивные сопротивления элементов цепи, можем найти угол сдвига фаз сигнала:

$$\varphi = arctg\left(\frac{x_L - x_C}{r}\right). \qquad (3.15)$$

Через комплексное сопротивление по закону Ома можно найти амплитуду тока в цепи:

$$I_m = \frac{E_m}{z}. \qquad (3.16)$$

Мгновенное значение силы тока i(t) находится исходя из амплитудного значения I_m и угла сдвига фаз φ:

$$i(t) = I_m \sin(\omega t - \varphi). \qquad (3.17)$$

Среднюю мощность, потребляемую цепью, можно рассчитать по формуле:

$$P = I^2{}_m \frac{r}{2}. \qquad (3.18)$$

Реактивная мощность, запасаемая цепью:

$$Q = U_m I_m \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right). \qquad (3.19)$$

При измерении напряжения и тока электронным вольтметром и мультиметром необходимо помнить, что их показания приведены в действующих значениях и при анализе расчетных значений с измеренными необходимо перевести в амплитудные значения.

Порядок выполнения работы

1. Измерения параметров цепи с последовательным соединением элементов

1.1. Выбрать значения элементов согласно заданному варианту (табл.3.1).

Таблица 3.1

Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5
$R_{Д1}$, $R_{Д2}$, кОм	0.3	1.5	2	0.3	1.5
$R_{Д3}$, кОм	$2R_{Д1}$	$4R_{Д1}$	$3R_{Д1}$	$4R_{Д1}$	$3R_{Д1}$
L	1	2	3	1	2
F, кГц	0; 0.1; 1; 10				

1.2. Собрать схему согласно рис. 3.8. Подключить схему к выходу ГН2 (для F = 0) или ГНЧ (для F > 0), установить напряжение на входе схемы в пределах от 1,5 В до 2,0 В. Ис-

пользуя осциллограф или вольтметр типа В3-38 провести измерения напряжений на $R_{Д1}$ и $R_{Д2}$ и общее напряжение цепи. Результаты занести в табл. 3.2.

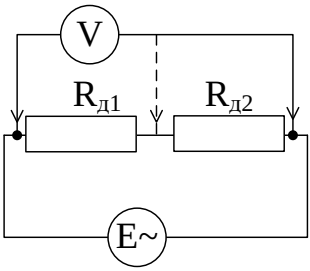


Рис. 3.8. Схема делителя напряжения

1.3. Заменить резистор $R_{Д2}$ на $R_{Д3}$, провести измерение напряжения на $R_{Д2}$ и $R_{Д3}$ и во всей цепи.

Таблица 3.2

Последовательное соединение

		U, В	U ($R_{Д1}$), В	U ($R_{Д2}$), В	U ($R_{Д3}$), В	U(C), В	U(L), В
измерения	0 Гц						
	0.1 кГц						
	1кГц						
	10 кГц						

1.4. Собрать схему, согласно рис. 3.9, а, заменив $R_{Д2}$ на конденсатор С. Конденсатор подобрать такой емкости, чтобы его реактивное сопротивление было близко к величине резистора $R_{Д2}$. Провести измерения напряжения во всей цепи, а также на каждом элементе, для каждого диапазона частот. Результаты занести в табл. 3.2.

1.5. Собрать схему, согласно рис. 3.9, а, подключив последовательно резистор $R_{Д2}$ и катушку индуктивности L. Провести измерения напряжения во всей цепи, а также на каждом

элементе для каждого диапазона частот. Результаты занести в табл. 3.2.

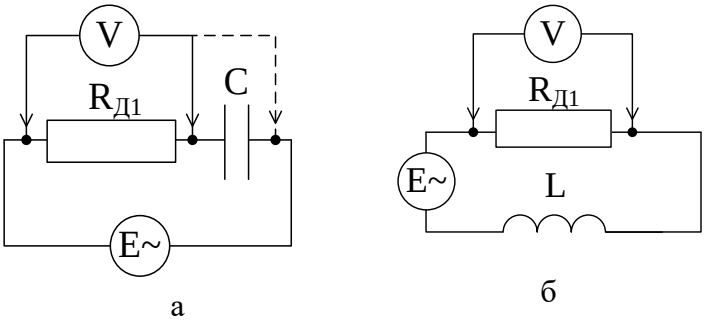


Рис. 3.9. Последовательные соединения реактивных элементов в цепи

1.6. Рассчитать абсолютную Δ и относительную δ погрешности измерений, дать заключение о проведенных измерениях. Результат занести в табл. 3.2.

2. Измерение параметров цепи с параллельным соединением элементов

2.1. Собрать схему согласно, рис. 3.10. Подключить $R_{Д1}$ и $R_{Д2}$. Подключить схему к выходу ГН2(F=0) или ГНЧ(F>0), установить напряжение на входе схемы от 1.5 до 2 В и измерить ток на $R_{Д1}$ и $R_{Д2}$ и общее ток в цепи. Результаты занести в табл. 3.3. При отсутствии амперметра для измерения переменного тока, можно воспользоваться косвенным методом, подключив последовательно вместо амперметра резистор Rэ = 1 Ом и параллельно ему вольтметр или осциллограф, затем высчитать ток по закону Ома.

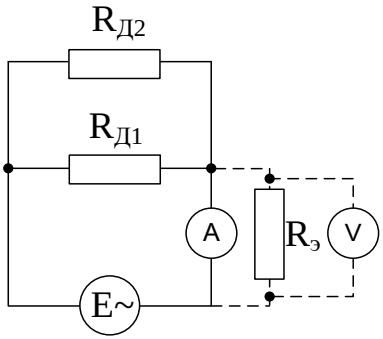
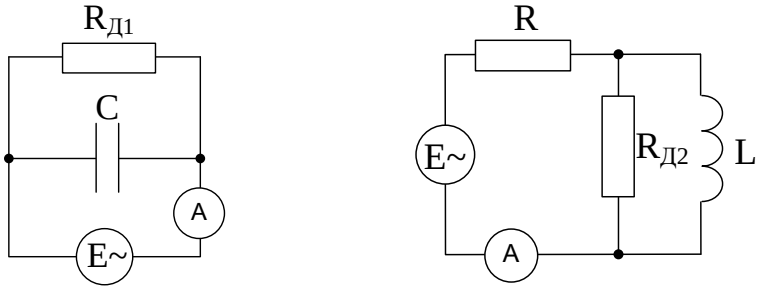


Рис.3.10. Резистивный делитель тока



а б

Рис. 3.11. Параллельные соединения реактивных элементов в цепи

2.2 Заменить резистор $R_{Д2}$ на $R_{Д3}$, провести измерение тока на $R_{Д2}$ и $R_{Д3}$ и во всей цепи.

Таблица 3.3

Параллельное соединение

		I, В	I ($R_{Д1}$), мА	I ($R_{Д2}$), мА	I ($R_{Д3}$), мА	I(C), мА	I(L), В
измерения	0 Гц						
	0.1 кГц						
	1кГц						
	10 кГц						

1.4. Собрать схему согласно, рис. 3.11, а, подключив параллельно резистор $R_{Д2}$ и конденсатор С. Конденсатор подобрать такой емкости, чтобы его реактивное сопротивление было близко к величине резистора $R_{Д2}$. Провести измерения тока в каждой ветке и во всей цепи, для каждого диапазона частот. Результаты занести в табл. 3.3.

1.5. Собрать схему согласно, рис. 3.11, б, подключив параллельно резистор $R_{Д2}$ и катушку индуктивности L. Провести измерения тока во всей цепи, а также на каждом элементе для каждого диапазона частот. Результаты занести в табл. 3.3.

Контрольные вопросы

1. Понятие переменного тока, основные параметры.
2. Гармонические источники синусоидальной формы.
3. Основные элементы цепи с синусоидальным источником и их сопротивление переменному току.
4. Методы расчёта параметров цепи переменного тока.
5. На какое значение тока калибруются амперметры и вольтметры переменного тока?
6. Резистор и его характеристики.
7. Конденсатор – как компонент электрической цепи.
8. Связь периода переменного тока с угловыми градусами.
9. Мгновенное и амплитудное значения переменного тока, формулы пересчета.
10. Какими основными параметрами обладает любая электрическая цепь переменного тока?
11. Катушка индуктивности как компонент электрической цепи. Ее сопротивление в цепи переменного тока.
12. Записать форму представления ЭДС, которая наводится в генераторе перменного тока.

Лабораторная работа 4

Исследование резонанса электрической цепи

Цель работы: закрепить основные теоретические положения по теме резонанс токов и напряжений, получить навыки сборки резонансных электрических цепей, привить навыки экспериментальных исследований и обобщения результатов экспериментов.

Краткие теоретические сведения

Резонансом называется такой режим работы в цепи, содержащей разные по характеру реактивные элементы (индуктивности и емкости), при котором эквивалентное реактивное сопротивление равно нулю и, следовательно, ток совпадает по фазе с приложенным напряжением.

Различают два вида резонанса: последовательный резонанс и параллельный резонанс. Резонанс напряжений наступает в цепи при последовательном соединении участков с индуктивностью и емкостью. Резонанс токов – при параллельном соединении реактивных элементов разного характера. В резонанс может быть настроена вся цепь или какая-либо ее часть.

Последовательный резонанс

В цепи с последовательным соединением индуктивности и емкости эквивалентного реактивного сопротивления x зависит от частоты ω и параметров катушки и конденсатора:

$$x = x_{\mathrm{L}} - x_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}. \qquad (4.1)$$

Схема цепи представлена на рис. 4.1

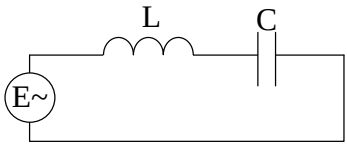


Рис. 4.1. Последовательная резонансная цепь

При $X_L = X_C$ реактивное сопротивление обращается в нуль и полное сопротивление Z = R, ток достигает наибольшего значения и по фазе совпадает с приложенным напряжением.

Цепь может быть настроена в резонанс путем изменения частоты ω или параметров цепи L или C.

Угловая частота ω при резонансе равна ω_o:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \qquad (4.2)$$

Индуктивное и емкостное сопротивления при резонансе называется волновым сопротивлением цепи и обозначается ρ:

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho. \qquad (4.3)$$

Отношение волнового сопротивления цепи ρ к активному R называется добротностью контура Q и определяется как:

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{U_{L0}}{U} = \frac{U_{C0}}{U}, \qquad (4.4)$$

где U_{L0} – напряжение на индуктивности при резонансе, В;

U_{co} – напряжение на емкости при резонансе, В;

U – входное напряжение цепи, В.

Величина, обратная добротности, называется затуханием контура d:

$$\frac{1}{Q} = d.$$

(4.5)

В режимах, близких к резонансным, и при резонансе, если добротность контура $Q > 1$, напряжения на катушке и конденсаторе оказываются больше, чем напряжение на входе цепи, т. е. на участках с реактивными сопротивлениями возникают перенапряжения.

Волновое сопротивление может быть определено по опытным данным как отношение напряжения на конденсаторе при резонансе к току, а добротность контура – как отношение напряжения на конденсаторе к приложенному напряжению (при условии, что активной проводимостью конденсатора можно пренебречь).

Графики, выражающие зависимость I, U_c и U_k от емкости, индуктивности или частоты, называются резонансными характеристиками. В случае изменения параметров L или C резонансные кривые называются параметрическими, при изменении частоты – частотными. Частотные и параметрические характеристики различаются между собой. Исходными выражениями для построения характеристик являются:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}; \; U_L = I \cdot \omega L; \; U_C = I\frac{1}{\omega C}. \qquad (4.6)$$

В цепи с последовательным соединением R, L и C при изменении частоты резонансные кривые имеют следующие характерные точки: при резонансе ток достигает максимума, напряжения на индуктивности и емкости равны, но не являются максимальными, максимальное напряжение на емкости наступает при частоте ω_C меньше резонансной ($\omega_C < \omega_O$), а на индуктивности – при ω_L больше резонансной ($\omega_L > \omega_O$). Разница между частотами ω_C, ω_L и ω_O будет тем больше, чем больше активное сопротивление контура:

$$\omega_C = \omega_O \sqrt{\frac{2-\partial^2}{2}}, \qquad (4.7)$$

$$\omega_L = \omega_O \sqrt{\frac{2}{2-\mathrm{d}^2}}. \qquad (4.8)$$

При изменении емкости (параметрический резонанс) характерные точки резонансных кривых:

1. При C = O, I = 0; U_L = 0; U_C = U.

2. Точка резонанса $C = C_0 = \frac{1}{\omega^2 L}$; $I = \frac{U}{R} = I_{\text{макс}}$; $U_L = I_m \cdot \omega L = U_{L\,\text{макс}}$; $U_C = U_L$ (напряжение на емкости равно напряжению на индуктивности, не является максимальным).

3. Максимальное напряжение на конденсаторе достигается при емкости C меньше резонансной (Cm < Co).

4. При $C = \infty; I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}; U_C = 0; U_L = I\omega L.$

В реальной электрической цепи напряжение может быть измерено не на индуктивном элементе L, а на зажимах катушки, обладающей двумя параметрами R_K и L_K, поэтому при резонансе напряжения на катушке и конденсаторе отличаются (напряжение на катушке больше, чем на конденсаторе).

При изменении параметров или частоты изменяется угол сдвига φ между приложенным напряжением и током. При частоте, меньше резонансной, цепь имеет емкостный характер, при частоте больше резонансной, – индуктивный, а при резонансной угол сдвига φ равен нулю. Так как при резонансе изменяется знак угла, то опытным путем точку резонанса точнее всего устанавливают по фазовой характеристике. Удобнее сравнивать резонансные характеристики контуров с разной добротностью, если они построены в относи-

тельных единицах. При этом по оси абсцисс откладывается величина $\frac{\omega}{\omega_O}$, а по оси ординат – $\frac{I}{I_O}$.

Вид резонансной характеристики, построенной в относительных единицах, зависит от добротности контура Q. Чем больше добротность контура Q, тем острее резонансная характеристика, т. е. тем лучшие избирательные свойства имеет цепь.

Диапазон частот вблизи резонанса, на границах которого ток снижается до значения $\frac{I_O}{\sqrt{2}}$, называют полосой пропускания контура $\Delta\omega$. Полоса пропускания контура зависит от добротности контура:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_O} = \frac{1}{Q} = d; \qquad (4.9)$$

$$\Delta\omega = \omega_O \cdot d. \qquad (4.10)$$

Параллельный резонанс

Рассмотрим цепь из двух параллельных участков с разными по характеру реактивными элементами (рис.5.1)

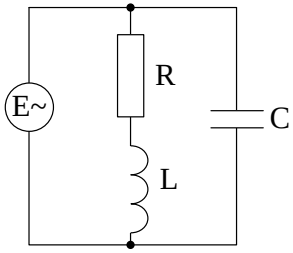


Рис.5.1. Параллельный резонансный контур

Проводимости ветвей y_1, y и полная проводимость всей цепи y определяются из выражений:

$$y_1 = \sqrt{g_1^{\ 2} + b_1^{\ 2}}\ ,$$

$$y_2 = \sqrt{g_2^{\ 2} + b_2^{\ 2}}\ ,$$

$$y_э = \sqrt{g_э^{\ 2} + b_э^{\ 2}}\ , \qquad (4.11)$$

где $g_э = g_1 + g_2$; $b_э = b_2 - b_1$

В цепи наступит резонанс, если:

$$b_э = b_2 - b_1 = 0, \qquad (4.12)$$

или:

$$\frac{\omega L}{R_1^{\ 2} + (\omega L)^2} = \frac{1}{\omega C\left[R_2^{\ 2} + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2\right]}\ . \qquad (4.13)$$

При этом цепь обладает только активной проводимостью:

$$g_э = g_1 + g_2 = \frac{R_1}{R_1^{\ 2} + (\omega L)^2} + \frac{R_2}{R_2^{\ 2} + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}\ . \qquad (4.14)$$

Из выражения (4.13) следует, что резонанс в параллельном контуре может быть достигнут путем изменения частоты ω, индуктивности L, ёмкости C или активных сопротивлений R_1 и R_2.

В том случае, если значение того или иного параметра, найденного из выражения (4.13), получается мнимым или комплексным, резонанс в параллельном контуре (при остальных неизменных параметрах) не может быть получен. Возможны случаи, когда резонанс наступает при двух разных

значениях параметров.

Резонансная угловая частота ω'_o параллельного контура определяется из выражения:

$$\omega_O{}^{э} = \frac{1}{LC}\sqrt{\frac{\frac{L}{C} - R_1{}^2}{\frac{L}{C} - R_2{}^2}} = \omega_O\sqrt{\frac{p^2 - R_1{}^2}{p^2 - R_2{}^2}}\ , \qquad (4.15)$$

где $\omega_O = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ — резонансная частота последовательного контура, состоящего из тех же элементов, $p = \sqrt{\frac{L}{C}}$ – волновое сопротивление последовательного контура.

Если сопротивление R_2 в ветви конденсатора равно нулю, то выражения (4.13), (4.14) и (4.15) упрощаются:

$$\frac{\omega L}{R_1{}^2 + (\omega L)^2} = \omega C\ , \qquad (4.16)$$

$$\omega_O{}' = \omega_O\sqrt{1 - \left(\frac{R_1}{p}\right)^2}\ , \qquad (4.17)$$

$$g_Э = g_1 = \frac{R_1}{R_1{}^2 + (\omega L)^2}\ . \qquad (4.18)$$

При $R_1 = R_2 = 0$ резонансная частота $\omega_o' = \omega_O = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, активная проводимость $g_э = 0$. В этом случае ток I до разветвления равен нулю, а входное сопротивление – бесконечности. В ветвях с индуктивностью и емкостью будут протекать токи, равные по величине, но сдвинутые по фазе на 180°.

В цепи R, L, C при резонансе происходит преобразование энергии электрического поля в энергию, магнитного поля и обратно, т. е. наблюдается колебание энергии, поэтому кон-

тур получил название колебательного контура.

Добротность параллельного резонансного контура равна отношению реактивной проводимости катушки или конденсатора к эквивалентной активной проводимости:

$$Q = \frac{b_L}{g_э} = \frac{b_C}{g_Э}. \qquad (4.19)$$

Выражение (4.19) можно преобразовать и получить новое выражение добротности контура через энергию электрического или магнитного поля W и мощность P:

$$Q = \frac{w_O' L}{z_1^2 g_Э} = \frac{w_O' L U_m^2}{z_1^2 g_Э 2U^2} = \omega_O' \frac{L I_{1m}^2}{2 g_Э U^2} = \omega_O' \frac{W_{Lm}}{p}, \qquad (4.20)$$

где $W_{Lm} = \frac{L I^2_{Lm}}{2}$ – максимальная энергия магнитного поля индуктивной катушки;

$P = U^2 . g_э$ – значение активной мощности при резонансе.

Если добротность контура больше единицы $Q > 1$, то токи в ветвях превышают по величине ток до разветвления, поэтому резонанс в параллельном контуре называется резонансом токов.

Угол сдвига между приложенным напряжением и током изменяется в соответствии с выражением:

$$\varphi = arctg \frac{b_L - b_C}{g_Э}. \qquad (4.21)$$

При частотах, меньше резонансной ω_O, ток отстаёт от напряжения и угол сдвига ФАЗ положительный, при частотах больше резонансной – отрицательный, при резонансе $\varphi = 0$. Так же, как и в последовательном контуре, наступление резонанса удобно установить по фазовой характеристике.

Порядок выполнения работы

1. Исследование резонанса последовательного контура

1.1. Собрать схему, приведенную на рис. 4.3. Установить следующие величины элементов цепи: $R_э$ = 1 Ом, R = 620 Ом, C = 0,01 мкФ, L_1 = 928 мГн. Подать синусоидальный сигнал от генератора типа Г3-111 амплитудой 1 В.

1.2. Плавно изменяя частоту генератора в диапазоне от 10 кГц до 1000 кГц, снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) контура.

Провести не менее 4-х измерений напряжений от уровня минус $0{,}7f_{рез}$ до уровня плюс $0{,}7f_{рез}$.

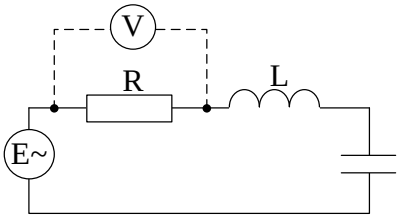


Рис. 4.3. Последовательное соединение элементов резонансной цепи

1.3. Провести аналогичные измерения, заменив емкость в схеме на 0,033 мкФ, затем на 680 пФ и индуктивность на L2 = 1219 мГн. Результаты измерений занести в табл.4.1.

Таблица 4.1

Результаты измерений последовательного контура

f, (кГц)					$f_{рез}$				
$U_{вх}$, (мВ)									
U_L, (мВ)									
U_C, (мВ)									

1.4. По результатам проведенных измерений построить АЧХ последовательного резонансного контура.

2. Исследование резонанса параллельного контура.

2.1. Собрать схему, приведенную на рис. 4.4. R = 200 Ом, C = 0,01 мкФ, L_1 = 928 мГ. Подать синусоидальный сигнал от генератора типа Г3-111 амплитудой 1 В.

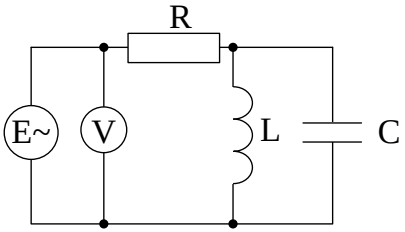


Рис. 4.4. Параллельное соединение элементов резонансной цепи

2.2. Плавно изменяя частоту генератора в диапазоне от 10 кГц до 1000 кГц, определить резонансную частоту контура.

Провести не менее 4-х измерений напряжений от уровня минус $0{,}7f_{\text{рез}}$ до уровня плюс $0{,}7f_{\text{рез.}}$

2.3. Провести аналогичные измерения, заменив величину емкости в схеме на C_1 = 0,033 мкФ; C_2 = 680 пФ и индуктивность на L2 = 1219 мГн. Результаты измерений занести в табл.4.2.

Таблица 4.2

Результаты измерений параллельного контура

f, (кГц)									
U, (В)									
C_1, (мкФ)									
C_2, (пФ)									
L_2, (мГн)									

2.4. По результатам проведенных измерений построить АЧХ параллельного резонансного контура.

Содержание отчета

1. Цель работы, краткие теоретические сведения.

2. Схемы электрические цепей для последовательного и параллельного резонансов.

3. Перечень используемых измерительных приборов с указанием пределов измерения и цены деления шкал.

4. Таблицы результатов измерений, графики амплитудно-частотных характеристик и заключения по каждому виду измерений.

5. Выводы и заключение.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о комплексном и реактивном сопротивлениях переменному току в цепи, состоящей из R, C, L.

2. Последовательный резонанс электрической цепи.

3. Параллельный резонанс в электрической цепи.

4. Что такое резонансная частота и полоса пропускания контура.

5. Показать на графике зависимость эквивалентного реактивного сопротивления C, L от частоты.

6. Дать определение добротности контура Q.

7. Что такое затухание контура d, зависимость от добротности.

8. Когда напряжения на катушке и конденсаторе оказываются больше, чем напряжение на входе цепи?

9. Волновое сопротивление цепи. Определение волнового сопротивления по опытным данным.

10. На каких частотах наступает максимальное напряжение на резисторе?

11. Нарисовать резонансные характеристики для контуров с различной добротностью.

12. В чем отличия частотных и параметрических характеристик резонансного контура.

13. На каких частотах наступает максимальное напряжение на емкости?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Немцов, М.В.* Электротехника и электроника: учебник для вузов / Немцов М.В. – Москва: Высшая школа, 2007, 560 с.

2. *Водовозов, А.М.* Основы Электроники: учебное пособие/ Водовозов А.М. – Вологда: Изд-во «Инфра-Инженерия», 2016.

3. *Прянишников, В.А.* Электротехника и ТОЭ в примерах и задачах. Практическое пособие под общ. ред. Прянишникова В.А. / Прянишников В.А., Петров Е.А., Осипов Ю.М. – Санкт-Петербург: Изд-во КОРОНА-Век. 2007.

4. *Наундорф, У.* Аналоговая электроника. Основы, расчет, моделирование / Наундорф У. – Москва: Техносфера, 2008.

5. *Бессонов, В.В.* Радиоэлектроника для начинающих (и не только). Вып. 6 / Бессонов В.В. – Москва: Изд-во СОЛОН-Р, 2001.

6. *Ашихмин, Г.Н.* Руководство к выполнению лабораторных работ по теоретическим основам электротехники. Часть 1, № 153 / Ашихмин Г.Н., Кочкарев Ю.А., Мазур Л.Д., Силина С.Г. – Таганрог: ТРТИ, 1976.

Снесарев Сергей Стефанович
Лагута Маргарита Владимировна

Методические указания
к выполнению лабораторных работ

по курсу

Электротехника и электроника

Часть 1

Редактор Кочерина Т.Ф.
Корректор Селезнева Н.И.
Компьютерная верстка Кочерина Т.А.

Подписано в печать
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Усл.п.л. – 3,4. Уч.-изд.л. – 3,0.
Заказ № Тираж 20 экз.

Издательство Южного федерального университета

Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции
Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1. Тел. (863) 247-80-51.