

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное образовательное
 учреждение высшего профессионального образования
 ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
 УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ ОМА И КИРХГОФА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Руководство к лабораторной работе №2 по дисциплине
 «Основы теории цепей» и «Теория электрических цепей»
 для студентов радиотехнического факультета
 всех специальностей

Разработчики:
 доцент кафедры ТОР
 Б.Ф. Голев
 доцент кафедры ТОР
 К.Ю. Дубовик,
 доцент кафедры ТОР
 И.В. Мельникова

Оглавление

1. Цель работы.....	3
2. Краткие теоретические сведения и исходная информация.....	3
3. Домашнее задание.....	8
3.1 Исследование выполнения законов Ома и Кирхгофа при гармоническом воздействии для последовательного соединения катушки индуктивности L и резистора $R1$	8
3.2 Исследование выполнения законов Ома и Кирхгофа при гармоническом воздействии для последовательного соединения конденсатора C и резистора $R1$	9
3.3 Исследование выполнения законов Ома и Кирхгофа при гармоническом воздействии для последовательного соединения сопротивлений $R1$ и $R2$	10
4. Лабораторное задание	10
5. Выводы по работе	15
6. Контрольные вопросы	15
Список литературы	19

1. Цель работы

1) Освоение методов измерения напряжения, тока и разности фаз гармонических сигналов.

2) Экспериментальная проверка топологических уравнений для цепей первого порядка и закона Ома в комплексной форме для индуктивности L , емкости C и сопротивления R .

3) Исследование влияния параметров цепи на значения токов и напряжений на элементах цепи.

2. Краткие теоретические сведения и исходная информация

Исследованию подлежат цепи из последовательно соединенных элементов RL , RC и RR . Они расположены на панели «Линейные цепи – 1» в верхнем левом углу, (Сх.1а, Сх. 1б, Сх. 1в.)

Параметры элементов: $L=30\text{мГн}$, $C=0,03\text{мкФ}$, $R=1\text{кОм}$. Входное напряжение $U_{\text{вх}}=1\text{В}$.

Лабораторная работа выполняется бригадой из 2-3 человек. За каждой бригадой закрепляется рабочее место (стенд). Студентам в бригаде присваивается порядковый номер. Номер варианта соответствует номеру рабочего места по таблице 2.1, или задается преподавателем. Каждый студент в бригаде проводит расчет и эксперимент на индивидуально заданной частоте.

Таблица 2.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота, кГц (нечетные №)	3	4	5	6	7	8	9	9,5
Частота, кГц (четные №)	13	14	10	11	12	13,5	14,5	15,5

Источником гармонических напряжений служит USB-лаборатория PCSGU250.

Общая схема цепи из двух последовательно соединенных элементов представлена на рис.2.1

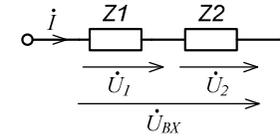


Рисунок 2.1

В качестве сопротивлений $Z1$ и $Z2$ могут использоваться активные сопротивления R , индуктивное сопротивление:

$$Z_L = j\omega L = \omega L e^{j90^\circ}, |Z_L| = X_L = \omega L, \quad (2.1)$$

или емкостное сопротивление:

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{\omega C} e^{-j90^\circ}, |Z_C| = |X_C| = \frac{1}{\omega C} \quad (2.2)$$

где ω – частота входного сигнала, L и C – значение исследуемой индуктивности или емкости.

Общий алгоритм расчета тока i и напряжений U_1 и U_2 при заданном значении входного сигнала $U_{\text{вх}}$ и известных значениях сопротивлений $Z1$ и $Z2$ имеет следующий вид:

Ток ветви определяется по закону Ома для участка цепи:

$$i = \frac{U_{\text{вх}}}{Z1 + Z2}, \quad (2.3)$$

Напряжения на элементах $Z1$ и $Z2$ определяются по закону Ома:

$$U_1 = i \cdot Z1, \quad (2.4)$$

$$U_2 = i \cdot Z2, \quad (2.5)$$

Подставив выражение (2.3) в выражения (2.4) – (2.5), получим окончательные выражения для напряжений на элементах:

$$U_1 = \frac{U_{\text{вх}} \cdot Z1}{Z1 + Z2}, \quad (2.6)$$

$$U_2 = \frac{U_{\text{вх}} \cdot Z2}{Z1 + Z2}, \quad (2.7)$$

При расчете токов и напряжений на элементах используется теория комплексных переменных, для которой характерно определение моделей и аргументов числа.

По теории любой гармонический сигнал (ток \dot{I} или напряжение \dot{U}) можно представить в виде комплексного числа (КЧ). В общем виде КЧ записывается следующим образом:

$$\dot{A} = a + jb, \quad (2.8)$$

где a и b - вещественные числа; j - мнимая единица: $j = \sqrt{-1}$.

Выражение (2.8) является алгебраической формой записи комплексного числа. Также для простоты расчетов при делении и умножении КЧ или комплексных выражений используется показательная форма записи КЧ:

$$\dot{A} = a + jb = |\dot{A}| \cdot e^{j\theta}, \quad (2.9)$$

где $|\dot{A}|$ - модуль КЧ: $|\dot{A}| = \sqrt{a^2 + b^2}$;

θ - главный аргумент КЧ: $\theta = \arctg \frac{b}{a}$ (с учетом четверти).

Общая методика определения модуля и аргумента комплексного дробного выражения представлена ниже:

Любое комплексное дробное выражение в стандартном виде представляется отношением двух комплексных чисел (КЧ) или выражений:

$$\dot{T} = \frac{a+jb}{c+jd} = \frac{\dot{A}}{\dot{B}} = \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\sqrt{c^2+d^2}} \cdot \frac{e^{j\theta_{\text{числ}}}}{e^{j\theta_{\text{знам}}}}, \quad (2.10)$$

Исходя из выражения (2.10), видно, что:

$$\text{Модуль дробного выражения} = \frac{\text{Модуль числителя}}{\text{Модуль знаменателя}}$$

$$\text{т.е.} \quad \text{Mod } \dot{T} = |\dot{T}| = T = \sqrt{\frac{a^2+b^2}{c^2+d^2}}. \quad (2.11)$$

Главный аргумент дробного выражения:

$$\text{Arg } \dot{T} = \theta_T = \theta_{\text{числ}} - \theta_{\text{знам}}, \quad (2.12)$$

Где $\theta_{\text{числ}} = \text{Arctg } \frac{b}{a}$, $\theta_{\text{знам}} = \text{Arctg } \frac{c}{d}$

В работе исследуются соотношения между напряжениями и током в последовательном соединении RL, RC и RR (рис.2.2):

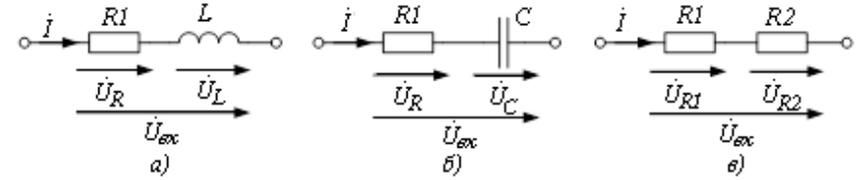


Рис. 2.2

Используя законы Ома и Кирхгофа, были получены выражения для определения токов и напряжений на элементах:

а) для **последовательного соединения индуктивности и активного сопротивления** (рис.2.2а):

Комплексное дробное выражение для напряжения на индуктивности имеет вид:

$$\dot{U}_L = \dot{U}_{\text{вх}} \cdot \frac{j\omega L}{R + j\omega L}, \quad (2.13)$$

где ω - угловая частота сигнала.

В соответствии с теорией комплексного переменного (2.11), (2.12), выражения для модуля и фазы сигнала определяются выражением (2.14):

$$|\dot{U}_L| = U_{\text{вх}} \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad \theta_{UL} = 90^\circ - \arctg \frac{\omega L}{R}. \quad (2.14)$$

Аналогичным образом определяется напряжение на сопротивлении:

$$\dot{U}_R = \dot{U}_{\text{вх}} \cdot \frac{R}{R + j\omega L}, \quad (2.15)$$

Модуль и фаза напряжения на сопротивлении определяются т выражениями (2.16):

$$|\dot{U}_R| = U_{\text{вх}} \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad \theta_{UR} = -\arctg \frac{\omega L}{R}. \quad (2.16)$$

Ток через последовательную цепь можно рассчитать по закону Ома:

$$\dot{I} = \frac{U_{\text{вх}}}{R + j\omega L} = \frac{\dot{U}_L}{\dot{Z}_L} = \frac{\dot{U}_R}{R}, \quad (2.17)$$

фаза тока совпадает с фазой напряжения на сопротивлении:

$$\theta_I = \theta_{UR}.$$

Используя закон Ома в комплексной форме, можно определить значение сопротивления индуктивности:

$$|\dot{Z}_L| = \frac{|\dot{U}_L|}{|i|}. \quad (2.18)$$

б) при *последовательном соединении емкости и активного сопротивления* (рис.2.2б) комплексное дробное выражение для напряжения на емкости в соответствии с законами Ома и Кирхгофа имеет вид:

$$\dot{U}_C = \frac{\dot{U}_{вх}}{1+j\omega RC}, \quad (2.19)$$

Множественно повторяющееся в формулах (2.20) – (2.24) произведение ωRC удобно обозначить любой буквой, например $\omega RC=m$, и рассчитать в самом начале расчетов.

Тогда модуль и фаза напряжения на емкости определяются выражением (2.20):

$$|\dot{U}_C| = \frac{U_{вх}}{\sqrt{1^2+(\omega RC)^2}} = \frac{U_{вх}}{\sqrt{1^2+(m)^2}}, \quad (2.20)$$

$$\theta_{UC} = -\arctg(\omega RC) = -\arctg(m). \quad (2.21)$$

Аналогичным образом определяется напряжение на сопротивлении:

В свою очередь комплексное дробное выражение для напряжения на сопротивлении определяется формулой (2.22):

$$\dot{U}_R = \dot{U}_{вх} \cdot \frac{j\omega RC}{1+j\omega RC} = \dot{U}_{вх} \cdot \frac{jm}{1+jm}, \quad (2.22)$$

Модуль и фаза напряжения на сопротивлении имеет вид:

$$|\dot{U}_R| = U_{вх} \frac{\omega RC}{\sqrt{1^2+(\omega RC)^2}} = U_{вх} \frac{A}{\sqrt{1^2+(A)^2}}, \quad (2.23)$$

$$\theta_{UR} = 90^\circ - \arctg(\omega RC) = 90^\circ - \arctg(A). \quad (2.24)$$

Ток через последовательную цепь можно рассчитать по закону Ома:

$$i = \frac{U_{вх}}{R+\dot{Z}_C} = \frac{\dot{U}_C}{\dot{Z}_C} = \frac{\dot{U}_R}{R}, \quad \theta_I = \theta_{UR}. \quad (2.25)$$

Соответственно сопротивление емкости определяется через закон Ома:

$$|\dot{Z}_C| = \frac{|\dot{U}_C|}{|i|}. \quad (2.26)$$

в) Основные расчетные формулы напряжений и тока *для последовательного соединения двух активных сопротивлений* (рис.2.2в) определяются выражениями (2.27) – (2.29):

$$U_{R1} = U_{вх} \cdot \frac{R1}{R1+R2}, \quad (2.27)$$

$$U_{R2} = U_{вх} \cdot \frac{R2}{R1+R2}, \quad (2.28)$$

$$I = \frac{U_{R1}}{R1} = \frac{U_{R2}}{R2} = \frac{U_{вх}}{R1+R2}, \quad \theta_{UR1} = \theta_{UR2} = \theta_I = 0. \quad (2.29)$$

3. Домашнее задание

По рекомендуемой литературе /1, с.40-46, 72-101; 2, с.48-59/ и методическим указаниям к данной работе изучить:

- соотношения между током и напряжением на элементах R, L, C (компонентные уравнения) для мгновенных значений и при гармоническом воздействии;
- основы метода комплексных амплитуд;
- законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме;

3.1 Исследование выполнения законов Ома и Кирхгофа при гармоническом воздействии для последовательного соединения катушки индуктивности L и резистора R1

1) В соответствии с вариантом рассчитать модуль сопротивления индуктивности (2.1);

2) Рассчитать и занести в табл. 3.1 алгебраическую и показательную форму записи сопротивления индуктивности;

Параметры цепи - Таблица 3.1

Сопротивление	Алгебраическая форма	Показательная форма
\dot{Z}_L , Ом		
\dot{Z}_C , Ом		
R , Ом		

3) В соответствии с вариантом из табл. 2.1 рассчитать модули и начальные фазы тока и напряжения на элементах **RL**-цепи по формулам (2.14) - (2.17) на заданной частоте. Расчетная схема, обозначения элементов и условно положительные направления напряжений и тока представлены на рис.2.2а. Параметры элементов: **R=1 кОм**, **L=30мГн**. Начальную фазу входного напряжения $\dot{U}_{вх}$ принять равной нулю. Результаты расчета занести в таблицу 3.2 «расчет».

Последовательное соединение RL - элементов - Таблица 3.2

$$\text{Частота } f = \text{_____ Гц, } U_{BX} = \text{___} B$$

	U_{RB} B	θ_{UR}°	U_L B	θ_{UL}°	I mA	θ_I°	R Ω	L mH	ωL Ω
расчет							1000	30	
							2000		
							3000		
эксперимент									

4) Повторить расчеты по формулам (2.14) - (2.17), изменив значения сопротивлений $R=2k\Omega$ и $R=3k\Omega$. Результаты занести в соответствующую графу табл. 3.2 «расчет»;

5) По результатам расчетов на одном рисунке построить топографические векторные диаграммы напряжений на элементах;

6) Сделать выводы о полученных результатах.

3.2 Исследование выполнения законов Ома и Кирхгофа при гармоническом воздействии для последовательного соединения конденсатора C и резистора $R1$

1) Рассчитать модуль сопротивления емкости (2.2);

2) Рассчитать и занести в табл.3.1 алгебраическую и показательную форму сопротивления емкости;

3) Рассчитать значение A из формулы (2.19);

4) Рассчитать модуль и начальные фазы тока и напряжения на элементах RC -цепи по формулам (2.20) - (2.25). Расчетная схема, обозначения элементов и условно положительные направления напряжений и тока представлены на рис.2.26). Параметры элементов: $R=1k\Omega, 2k\Omega$ и $3k\Omega$; $C=0.03\mu F$. Начальную фазу входного напряжения \dot{U}_{BX} принять равной нулю. Результаты расчета занести в соответствующие графы таблицы 3.3 «расчет».

Последовательное соединение RC элементов - Таблица 3.3

$$\text{Частота } f = \text{_____ Гц, } U_{BX} = \text{___} B$$

	U_{RB} B	θ_{UR}°	U_C B	θ_{UC}°	I mA	θ_I°	R Ω	C μF	$ Z_C $ Ω
расчет							1000	30	
							2000		
							3000		
эксперимент									

5) По результатам расчетов на одном рисунке построить топографические векторные диаграммы напряжений на элементах;

6) Сделать выводы о полученных результатах.

3.3 Исследование выполнения законов Ома и Кирхгофа при гармоническом воздействии для последовательного соединения сопротивлений $R1$ и $R2$.

1) Рассчитать ток и напряжение на элементах RR -цепи при значениях сопротивлений $R1=R2=1k\Omega$, используя выражения (2.27) – (2.29). Расчетная схема, обозначения элементов и условно положительные направления напряжений и тока представлены на рис.2.2в). Результаты расчета занести в таблицу 3.4.

Последовательное соединение RR - Таблица 3.4

$$\text{Частота } f = \text{_____ Гц, } U_{BX} = \text{___} B$$

	U_{RB} B	θ_{UR1}°	U_{R2} B	θ_{UR2}°	I mA	θ_I°	$R1$ Ω	$R2$ Ω
расчет							1000	1000
							1000	2000
							1000	3000
эксперимент								

2) Повторить расчеты по формулам (2.27) - (2.29), изменив значения сопротивлений $R2=2k\Omega$ и $R2=3k\Omega$. Результаты занести в соответствующую графу табл. 3.4 «расчет»;

3) По результатам расчетов построить топографические векторные диаграммы напряжений на элементах;

4) Сделать выводы о полученных результатах.

4. Лабораторное задание

По причинам, которые в данной работе не обсуждаются, большинство измерительных приборов предназначены для измерения узлового напряжения (см. метод узловых напряжений). Один из выводов приборов заземлен, часто его называют **общим проводом**. Второй вывод называют **потенциальным** или **сигнальным**, или просто обозначают «вход» или «выход». При сборке измерительной установки в первую очередь соединяются между собой общие провода всех приборов и исследуемого объекта, т.е. подключают к шине с белыми разъемами. Напряжения U_{Z1} и U_{Z2} измеряется, как показано на рисунках 4.1а) и 4.1в). Измерения в соответствии с рис.4.1б) **НЕ ДОПУСТИМЫ**.

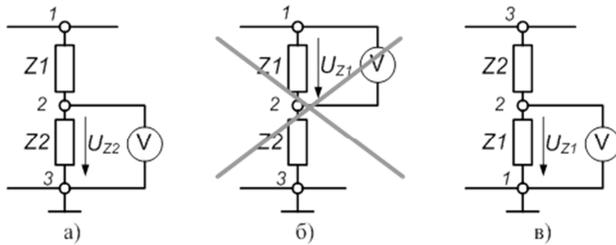
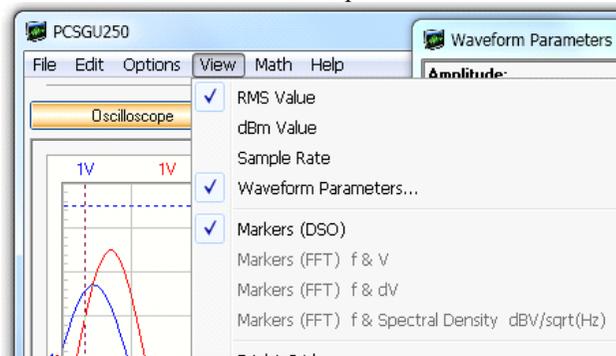


Рисунок 4.1

Студентам в данной лабораторной работе необходимо исследовать три электрических цепи, представленные на рис. 2.2. Методика измерений представлена ниже:

4.1 Подготовка измерительной установки к работе:

- 1) Включить программу Pclab2000LT (иконка на рабочем столе);
- 2) Соединить **нулевые** провода кабелей (светло-коричневые) выхода генератора (GENERATOR) и входов осциллографа CH1 и CH2 приставки PCSGU250 с шиной \perp панели (белые клеммы);
- 3) **Потенциальный** провод (синий провод) генератора подключить к **сигнальной** шине панели (красные клеммы);
- 4) **Потенциальные** провода осциллографа CH1 и CH2 подключить к **сигнальной** шине панели;
- 5) На генераторе установить заданную частоту f , (из таблицы 2.1.), и напряжение, порядка 1–1,5 В;
- 6) Запустить осциллограф, (RUN), подобрать чувствительность каналов осциллографа и параметры временной развёртки таким образом, чтобы на экране было видно 2-3 периода сигналов;
- 7) Включить режимы измерения действующих значений и маркерных измерений, выбрав пункты меню **View, RMS Value, Markers (DSO), Waveform Parameters...**, как показано на рис.ниже



8) На экране осциллографа должны появиться вертикальные и горизонтальные пунктирные линии, а также должно появиться дополнительное диалоговое окно параметров сигнала; Для измерений потребуется активировать строки: **Peak-to-peak, AC RMS, Phase**;

9) Включить режим запуска осциллографа от заданного уровня входного сигнала первого канала, (Trigger On, Source CH2), движком уровня запуска Level добиться устойчивого отображения сигналов;

10) Установить режимы запуска по нарастанию  .

11) С помощью горизонтальных маркеров измерить пиковые значения сигналов по первому и второму каналам.

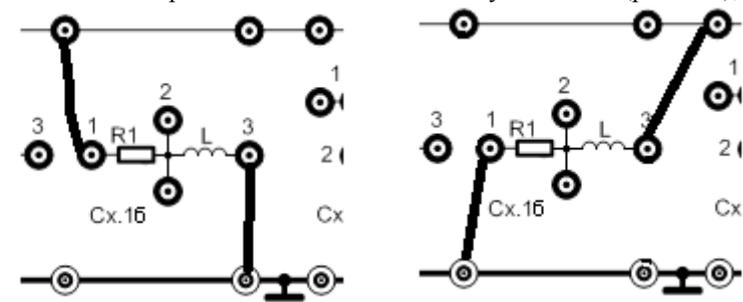
12) Выключить осциллограф, отжав кнопку RUN.

13) Отключить выход осциллограммы второго канала, считать как значение действующего напряжения второго канала, (V_{rms}). Убедится, что действующее значение отличается от пикового значения напряжения в $\sqrt{2}$ раз.

14) Установка готова к работе.

4.2 Исследование последовательного соединения RL :

1) С помощью дополнительных перемычек подать сигнал с потенциальной шины на сопротивление и заземлить индуктивность (рис.4.2а);

а) для измерения U_L б) для измерения U_R Рис.4.2 Последовательное соединение RL элементов

- 2) Подключить вход CH1 осциллографа к гнезду 2 Схемы 1а;
- 3) Измерить действующее значение напряжения на индуктивности U_L . Для этого можно использовать как осциллограф (значение **AC RMS**), так и измерения напряжения с помощью вольтметра ВЗ-38А, который также подключается к свободному гнезду 2. Результаты занести в табл.3.2 «эксперимент» при $R=1\text{кОм}$;

4) Измерить фазу напряжения на индуктивности θ_{UL}° .

Примечание: измеряется сдвиг начальных фаз между опорным (входным) и измеряемым напряжением. Для простоты записи здесь и далее «фаза»

Для этого необходимо:

- С помощью вертикальных маркеров измерить период сигнала (T) по любому из каналов, затем измерить временную задержку второго канала от первого (t).
 - Взяв за нуль фазу напряжения первого канала, (напряжения генератора), убедиться по осциллограммам в том, что напряжение на индуктивности опережает по фазе напряжение генератора.
 - Вычислить фазовый сдвиг напряжения на индуктивности в градусах φ_{UL} , используя знание о том, что длительность периода сигнала T соответствует 360° .
 - Сравнить получившиеся значения с показаниями «Phase». Далее при измерении фазы можно пользоваться именно этой опцией;
- 5) Результаты измерений занести в табл.3.2 «эксперимент» при $R=1\text{кОм}$;
- Поменять положение перемычек в соответствии с рис.4.2б;
 - Измерить действующее значение и начальную фазу напряжения на сопротивлении (Повторить п.п.3-5). Результаты измерений табл.3.2 «эксперимент» при $R=1\text{кОм}$;
 - Установить значение сопротивления $R=2\text{кОм}$. Для этого последовательно к сопротивлению $R1=1\text{кОм}$ подключить еще одно сопротивление $R1$ или $R2$ других схем лабораторного макета (рис.4.3а);

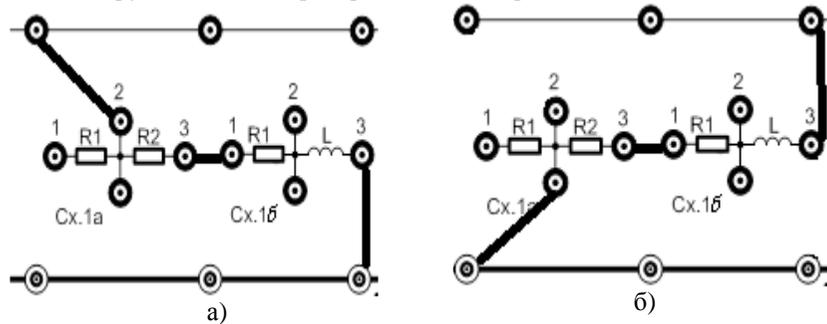


Рис.4.3 Последовательное соединение RRL элементов

- Вход СН1 осциллографа оставить подключенным к гнезду 2 Схемы 1б;
- Измерить модуль и начальную фазу напряжения на индуктивности (п.п.3-5). Результаты занести в табл.3.2 «эксперимент» при $R=2\text{кОм}$;

- Собрать схему на рис.4.3б;
- Вход СН1 осциллографа оставить подключенным к гнезду 2 Схемы 1б;
- Измерить модуль и начальную фазу напряжения на сопротивлении (п.п.3-5). Результаты занести в табл.3.2 «эксперимент» при $R=2\text{кОм}$;
- Установить значение сопротивления $R=3\text{кОм}$. Для этого последовательно к сопротивлению $R1=1\text{кОм}$ подключить еще два сопротивления $R1$ или $R2$ других схем лабораторного макета (рис.4.3а);
- Повторить пункты 3) – 7). Результаты занести в табл.3.2 «эксперимент» при $R=3\text{кОм}$;
- По результатам измерений (табл.3.2, «эксперимент»), используя выражения (2.17), (2.18) рассчитать значения токов и сопротивлений индуктивности при различных значениях активного сопротивления. Результаты занести в табл.3.2 «эксперимент»;
- Рассчитать значения индуктивностей по полученным в п.16) значениям сопротивлений индуктивности, используя выражение (2.1). Сравнить с исходной информацией;
- На одном рисунке в соответствии с масштабом построить топографические векторные диаграммы напряжений на элементах для трех значений сопротивлений. Масштаб напряжения $0,2\text{В/см}$, масштаб тока $0,2\text{мА/см}$.

4.3 Исследование последовательного соединения RC:

- Собрать схему 2.2б, опираясь на предыдущие измерения (рис.4.2а, рис.4.2б);
- Подключить вход СН1 осциллографа к гнезду 2 Схемы 1в;
- Повторить измерения действующего значения и фазы напряжений на емкости и сопротивлении в соответствии с п.п. 3) – 7) подпункта 4.2. Результаты измерений занести в табл. 3.3 «эксперимент»;
- Изменить значение сопротивления на $R=2\text{кОм}$ и $R=3\text{кОм}$ (см. п8), 4.2, рис.4.3а и б);
- Измерить действующее значение и фазу напряжений на емкости и сопротивлении в соответствии с п.п. 3) – 7) подпункта 4.2. Результаты измерений занести в соответствующие графы табл. 3.3 «эксперимент»;
- По результатам измерений (табл.3.3, «эксперимент»), используя выражения (2.25), (2.26) рассчитать значения токов и сопротивлений емкости при различных значениях активного сопротивления $R=1\text{кОм}$, $R=2\text{кОм}$ и $R=3\text{кОм}$. Результаты занести в табл.3.3 «эксперимент»;
- Рассчитать значения емкости, используя выражение (2.2);
- На одном рисунке в соответствии с масштабом построить топографические векторные диаграммы напряжений на элементах для трех значений сопротивлений. Масштаб напряжения $0,2\text{В/см}$, масштаб тока $0,2\text{мА/см}$.

4.4 Исследование последовательного соединения RR:

1) Выполнить для RR-цепи все пункты программы измерений, проделанные для RL и RC цепей. Заполнить табл.3.4. Построить векторные диаграммы напряжений и тока, убедиться в выполнении закона Кирхгофа и закона Ома.

2) Отключить схему от **сигнальной и общей шин**. Измерить сопротивления каждого сопротивления, участвующего в измерениях (мультимером).

5. Выводы по работе

1) Сделать итоговые выводы по результатам работы. В выводах четко зафиксировать фазовые сдвиги между напряжением и током на отдельных элементах:

- на сопротивлении,
- на индуктивности,
- на емкости,

подчеркнув, что именно отстает (опережает).

2) В выводах указать влияние сопротивления на значение напряжений на элементах (его амплитуду и фазу), а также на величину сдвига фаз между входным напряжением и общим током и саму величины общего тока в цепи;

3) Сопоставив данные измерений на разных частотах в бригаде, сделать вывод о фазовом сдвиге тока относительно общего, т.е. входного напряжения в схеме RL; в схеме RC;

4) Сделать заключение о выполнении II закона Кирхгофа в схемах с разнотипными элементами RL, RC, (LC) и в схемах с однотипными элементами RR (LL, CC);

5) Обоснованно пояснить в каких из перечисленных выше схемах для экспериментальной проверки II закона Кирхгофа можно обойтись без измерения фазы;

6) Обоснованно объяснить расхождения в расчетных и экспериментальных данных;

6. Контрольные вопросы

1) Назовите условия использования метода комплексных амплитуд (МКА) (тип входного воздействия, тип цепи, режим).

2) Дайте определения линейного элемента, линейной цепи, установившегося режима.

3) Назовите все параметры гармонического сигнала; укажите, как взаимосвязаны амплитудное и действующее значения, угловая и циклическая частоты.

4) Запишите выражения для $u(t)$ или $i(t)$, если

a. $\dot{U} = 15 \cdot e^{j80^\circ}$ В, частота 10^3 рад/с;

б. $\dot{I} = 10 \cdot e^{-j70^\circ}$ мА, частота 3 кГц;

в. $\dot{U}_m = 20 \cdot e^{-j45^\circ}$, частота 8 кГц;

г. $\dot{I}_m = 0.05 \cdot e^{-j35^\circ}$, частота 10^3 рад/с.

5) Поясните, как определяется цена деления у вольтметра ВЗ-38..

6) Поясните, почему подключение вольтметра (аналогично миллиамперметра) практически не влияет на значения измеряемых величин напряжения (тока) в исследуемых двухполюсниках.

7) Поясните, как экспериментально показать, что элемент линейный.

8) Поясните, как определить по осциллографу разность фаз между входным напряжением и напряжением на элементе.

9) Запишите в алгебраической и показательной формах комплексное сопротивление для

a. индуктивности;

б. емкости.

10) Запишите выражения и изобразите частотные зависимости $X_L(\omega)$ и $X_C(\omega)$.

11) Изобразите частотные зависимости $|Z_L|$, θ_{ZL} и $|Z_C|$, θ_{ZC} .

12) Поясните, как определить цену деления у осциллографа.

13) Сформулируйте, что отражают компонентные уравнения элементов.

14) Запишите компонентные уравнения для мгновенных значений и для комплексных значений

a. для индуктивности;

б. для емкости;

в. для сопротивления

15) Поясните, почему \dot{I}_L всегда отстает от \dot{U}_L на 90° .

16) Поясните, почему \dot{U}_C всегда отстает от \dot{I}_C на 90° .

17) Поясните, можно ли, используя только вольтметры, продемонстрировать второй закон Кирхгофа в последовательном соединении двух элементов RR, LL, CC, RL, RC, LC .

18) Поясните, можно ли, используя только амперметры, продемонстрировать первый закон Кирхгофа в параллельном соединении двух элементов RR, LL, CC, RL, RC, LC .

19) Постройте лучевую и топографическую диаграммы напряжений в последовательном соединении двух заданных элементов, если известна начальная фаза тока и соотношение сопротивлений:

- а. $RC, \varphi_I = 30^\circ, |X_C| = 2R$;
- б. $RL, \varphi_I = -45^\circ, X_L = 0.5R$.

20) Постройте лучевую диаграмму токов в параллельном соединении двух заданных элементов, если известна начальная фаза напряжения и соотношение сопротивлений в ветвях:

- а. $RC, |X_C| = 0.25R, \varphi_U = +90^\circ$;
- б. $RL, X_L = 4R, \varphi_U = 0^\circ$.

21) По заданным векторным диаграммам (рис.6.1) определите схему и соотношение сопротивлений, дав необходимые обоснования и обозначения.

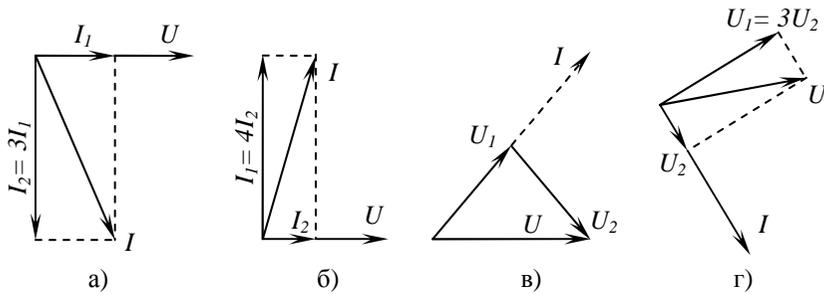


Рисунок 6.1

22) Поясните, как будет меняться векторная диаграмма на рисунке 6.1 (а, б, в или г по заданию преподавателя), если частота будет увеличиваться в 2 раза, 10 раз и $f \rightarrow \infty$. Привести эквивалентную схему замещения при $f \rightarrow \infty$?

23) Поясните, как будет меняться векторная диаграмма на рисунке 6.1 (0а, б, в или г по заданию преподавателя), если частота будет уменьшаться в 2 раза, 10 раз и. наконец $f \rightarrow 0$. Во что вырождается схема при $f \rightarrow 0$?

24) Поясните, выполняется ли соответствующий закон Кирхгофа для схемы рис.6.2 при значениях U_1 и U_2 , приведенных в табл.5.1. Поясните, зависит ли ответ от характера X (X_L или X_C).

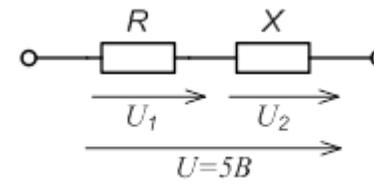


Рисунок 6.2

Таблица 6.1

Вариант	$U_1, В$	$U_2, В$
а	2	3
б	3	2
в	4	3
г	3	4

25) Поясните, выполняется ли соответствующий закон Кирхгофа для схемы рис.6.3 при значениях U_1 и U_2 , приведенных в табл.6.2.

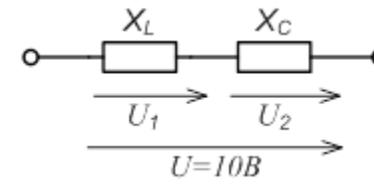


Рисунок 6.3

Таблица 6.2

Вариант	$U_1, В$	$U_2, В$
а	5	5
б	15	25
в	$10/\sqrt{2}$	$10/\sqrt{2}$
г	20	10

26) Поясните, выполняется ли соответствующий закон Кирхгофа для схемы рис.6.4 при значениях U_1 и U_2 , приведенных в табл.6.3.

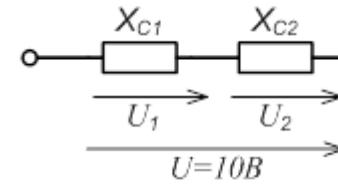


Рисунок 6.4

Таблица 6.3

Вариант	$U_1, В$	$U_2, В$
а	5	5
б	$10/\sqrt{2}$	$10/\sqrt{2}$
в	20	30

27) Поясните, выполняется ли соответствующий закон Кирхгофа, если ток общей цепи параллельно соединенных сопротивлений R и X равен 50 мА, а токи отдельных ветвей равны: а) 40мА и 30мА; б) 20мА и 30мА.

28) Поясните, может ли ток I опережать напряжение U в двухполюсниках RL (рис.6.5) при каком-либо соотношении сопротивлений X_L и R .

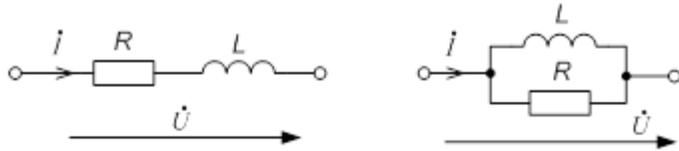


Рисунок 6.5

29) Поясните, может ли напряжение \dot{U} опережать ток \dot{I} в двухполюсниках RC (рис.6.6) при каком-либо соотношении сопротивлений X_C и R .

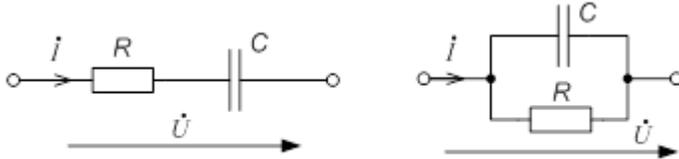


Рисунок 6.6

30) Вычислите ток $i(t)$ в последовательном соединении двух элементов, если $U_{вх}(t) = 20\cos(10^4t + 90^\circ)$ В;

- а. $R = 500 \text{ Ом}$, $L = 50 \text{ мГн}$;
- б. $R = 40 \text{ Ом}$, $C = 2.5 \text{ мкФ}$;
- в. $C = 2.5 \text{ мкФ}$, $L = 8 \text{ мГн}$;
- г. $L = 20 \text{ мГн}$, $C = 0.25 \text{ мкФ}$;
- д. $R_1 = 1.5 \text{ кОм}$, $R_2 = 500 \text{ Ом}$.

7.Список литературы

1. Попов В.П. Основы теории цепей.- М.: Высш.шк.,2005.-574с.(252 экз.)
2. Атабеков Г.И. Основы теории цепей.- СПб.: Лань,2009.-432с. Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=95