

Министерство науки и высшего образования РФ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Кафедра ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Лабораторная работа № 5 по дисциплине «Теоретические основы электротехники»

«Исследование цепи синусоидального тока»

| | |
|-------------------------------|--|
| Студент: | |
| Группа: | |
| Бригада: | |
| Подпись студента: | |
| Дата выполнения: | |
| Дата защиты: | |
| Оценка: | |
| Преподаватель: | |
| Подпись преподавателя: | |

Москва 2025

Лабораторная работа №5
«Исследование цепи синусоидального тока»

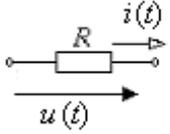
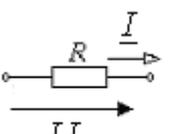
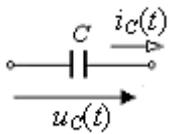
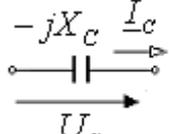
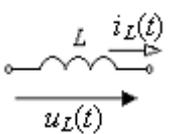
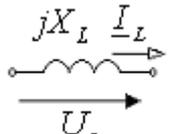
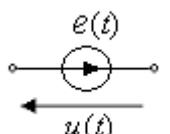
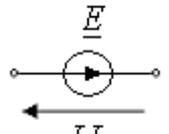
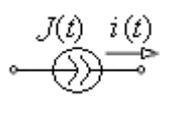
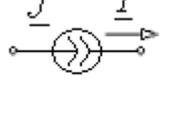
В первой части работы исследуется разветвленная цепь синусоидального тока. Проводятся измерения действующих значений токов и напряжений, мощности, сдвига фаз между синусоидальными величинами. По результатам эксперимента строятся векторная диаграмма токов и топографическая диаграмма напряжений, проводится проверка выполнения баланса активной мощности в цепи синусоидального тока. С помощью комплексного метода и построения векторных диаграмм производится теоретический расчёт цепи, результаты которого сравниваются с экспериментом. Во второй части работы исследуются зависимости токов при изменении параметра одного из элементов цепи. По экспериментальным данным строятся круговые диаграммы, проводится сравнение экспериментальных круговых диаграмм с теоретическими.

Ключевые слова: действующее значение (синусоидального тока, напряжения, ЭДС); сдвиг фаз; полная мощность; активная мощность; реактивная мощность; комплексная амплитуда (синусоидального тока, напряжения, ЭДС); комплексное действующее значение (синусоидального тока, напряжения, ЭДС); комплексное сопротивление; векторная диаграмма; векторно-топографическая диаграмма; круговая диаграмма.

1. Теоретическая справка

Для расчета синусоидальных величин (токов, напряжений, ЭДС), т.е. для выполнения алгебраических операций над ними, переходят в *комплексную расчетную область*. Сущность метода состоит в том, что синусоидальные токи, напряжения, ЭДС изображаются *комплексными числами*, что позволяет рассчитывать цепи синусоидального тока с использованием алгебраических уравнений аналогично цепям постоянного тока. Комплексные величины $\underline{I}_m = I_m e^{j\varphi_i}$, $\underline{U}_m = U_m e^{j\varphi_u}$, $\underline{E}_m = E_m e^{j\varphi_e}$ называют *комплексными амплитудами* соответственно синусоидального тока, напряжения и ЭДС, а комплексные величины $\underline{I} = \frac{\underline{I}_m}{\sqrt{2}}$, $\underline{U} = \frac{\underline{U}_m}{\sqrt{2}}$, $\underline{E} = \frac{\underline{E}_m}{\sqrt{2}}$ – *комплексными действующими значениями* тока, напряжения и ЭДС. Введенные комплексы \underline{I}_m , \underline{U}_m , \underline{E}_m (\underline{I} , \underline{U} , \underline{E}) однозначно описывают переменные $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$, $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$, $e(t) = E_m \sin(\omega t + \varphi_e)$ (существует взаимно-однозначное соответствие). Каждому комплексу \underline{I}_m , \underline{U}_m , \underline{E}_m (\underline{I} , \underline{U} , \underline{E}) соответствует мгновенное значение соответственно синусоидального тока, напряжения и ЭДС: амплитуда равна длине (модулю) комплексной амплитуды или в $\sqrt{2}$ раз больше длины (модуля) комплекса действующего значения, а начальная фаза равна углу комплексной амплитуды и комплекса действующего значения. Введение вместо синусоидальных функций времени $i(t)$, $u(t)$, $e(t)$ комплексов \underline{I}_m , \underline{U}_m , \underline{E}_m (\underline{I} ,

\underline{U} , \underline{E}) позволяет записать компонентные уравнения элементов цепи в комплексной форме:

| Элемент | Временная область | | Комплексная область | |
|---------------|---|------------------------------------|---|---|
| | изображение | уравнение | изображение | уравнение |
| резистивный |  | $u = R \cdot i$ |  | $\underline{U} = R \cdot \underline{I}$ |
| емкостной |  | $u_c = \frac{1}{C} \int i_c(t) dt$ |  | $\underline{U}_C = -jX_C \cdot \underline{I}_C$ $X_C = \frac{1}{\omega C}$ |
| индуктивный |  | $u_L = L \frac{di_L}{dt}$ |  | $\underline{U}_L = jX_L \cdot \underline{I}_L$ $X_L = \omega L$ |
| источник ЭДС |  | $u = e$ |  | $\underline{U} = \underline{E}$ |
| источник тока |  | $i = J$ |  | $\underline{I} = \underline{J}$ |

Компонентные уравнения резистивного, емкостного и индуктивного элементов в комплексной области описываются алгебраическим уравнением:

$$\underline{U} = \underline{Z} \cdot \underline{I},$$

где $\underline{Z} = R$ для резистивного элемента, $\underline{Z} = -jX_C$ – для емкостного элемента, $\underline{Z} = jX_L$ – для индуктивного элемента. Уравнение представляет собой запись закона Ома в комплексной форме для резистивного, емкостного и индуктивного элементов. Для расчета составляют комплексную схему замещения цепи и математическое описание всех ее элементов в комплексной области. Используя уравнения Кирхгофа в комплексной форме

$$\sum_j \underline{I}_j = 0 \quad \text{и} \quad \sum_j \underline{U}_j = 0 \quad \left(\sum_m \underline{E}_m = \sum_n \underline{Z}_n \underline{I}_n \right),$$

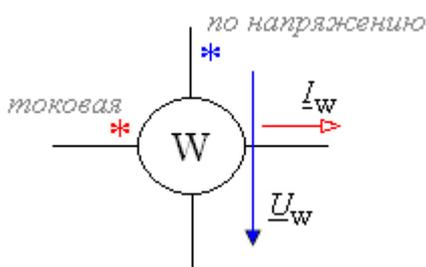
можно получить полное математическое описание цепи в комплексной форме. Цепь в этой области описывается чисто алгебраическими уравнениями. Решив эти уравнения, т.е., определив комплексы всех токов и напряжений цепи, от последних переходят к мгновенным значениям (соответствующим синусоидальным функциям токов и напряжений). Представление синусоидальных токов,

напряжений и ЭДС комплексными числами позволяет изображать их на комплексной плоскости в виде векторов, отображая действия, производимые над этими числами в процессе расчета цепей, в виде построений соответствующих *векторных диаграмм*. Удобной иллюстрацией расчета является *векторная диаграмма токов* (ВДТ) и *топографическая диаграмма напряжений* (ТДН), отражающая соотношения между комплексами тока и напряжения на любом участке цепи и позволяющая находить графическим путем напряжение между любыми точками электрической цепи без дополнительного расчета.

Для участка цепи с комплексным напряжением $\underline{U} = U \angle \varphi_u$ и комплексным током $\underline{I} = I \angle \varphi_i$ вводят понятие *комплексной мощности*:

$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^*$, где $\underline{I}^* = I \angle -\varphi_i$ комплексно-сопряженный вектор комплексного тока. Модуль комплексной мощности равен *полной мощности* S , *активная* и *реактивная мощности* $P = \text{Re}[\underline{S}] = S \cos \varphi$, $Q = \text{Im}[\underline{S}] = S \sin \varphi$, $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$.

Измерение действующего значения тока, напряжения в цепи синусоидального тока проводится амперметром и вольтметром электродинамической или электромагнитной системы. Активная мощность измеряется *ваттметром*. Ваттметр имеет две цепи (обмотки) – токовую (последовательная неподвижная обмотка) и по напряжению (параллельная подвижная обмотка). Показание ваттметра рассчитывается по формуле $P_w = U_w I_w \cos \varphi_w$, где U_w , I_w – действующие значения напряжения и тока



ваттметра, а φ_w – угол сдвига фаз между ними, считая одинаковыми положительными направлениями комплексов напряжения и тока относительно зажимов, отмеченных * или • (как правило, от отмеченных зажимов к неотмеченным).

Баланс мощностей генераторов и приемников электромагнитной энергии:

$$\boxed{\sum P_{\Gamma} = \sum P_{\text{пр}}}, \quad \boxed{\sum Q_{\Gamma} = \sum Q_{\text{пр}}}, \quad \boxed{\sum \underline{S}_{\Gamma} = \sum \underline{S}_{\text{пр}}}$$

При исследовании режимов электрических цепей наряду с аналитическими методами используют графический метод – построение геометрических мест концов вектора тока или напряжения при изменении параметров элементов электрических цепей. Эти геометрические места, называемые *диаграммами* (*годографами*) могут иметь сложную форму. В простейших случаях получают прямые линии или дуги окружностей, которые называют соответственно *линейными* и *круговыми диаграммами*. Круговая диаграмма имеет место, если при изменении параметра элемента ветви, угол сдвига между током и напряжением на этой ветви не меняется. Уравнение для некоторого комплекса (вектора) \underline{M} , годографом которого

является дуга окружности, в общем случае имеет вид $\underline{M} = \frac{\underline{M}_0}{1 + \frac{n}{a} e^{j\psi}}$. При этом

только действительное число n является переменным, а \underline{M}_0 , действительное число a и угол ψ остаются неизменными. В теории доказывается, что годографом комплекса \underline{M} при изменении n в широком диапазоне $0 < n < \infty$ является дуга окружности.

В работе при проведении эксперимента для построения круговой диаграммы комплекса входного тока пассивного двухполюсника напряжение на входе пассивного двухполюсника поддерживается неизменным, а в широком диапазоне (от "нуля" до "бесконечности") меняется параметр элемента пассивного двухполюсника. При построении годографа на комплексной плоскости, как правило, принимают комплекс входного напряжения $\underline{U} = U \angle 0$, а вещественная ось располагается вертикально.

Круговая диаграмма неразветвленной цепи

Пусть неразветвленная цепь состоит из последовательно соединенных элементов: один с неизменяющимися параметрами, другой может менять параметры в широком диапазоне. К примеру, первый элемент – резистивный с сопротивлением R , второй элемент – индуктивный с индуктивностью L . Цепь подключена к источнику синусоидального напряжения. При изменении частоты ω входного напряжения от нуля до бесконечности меняется реактивное сопротивление ωL (обозначено на схеме стрелкой). Действующее значение напряжения на входе при этом поддерживается неизменным.

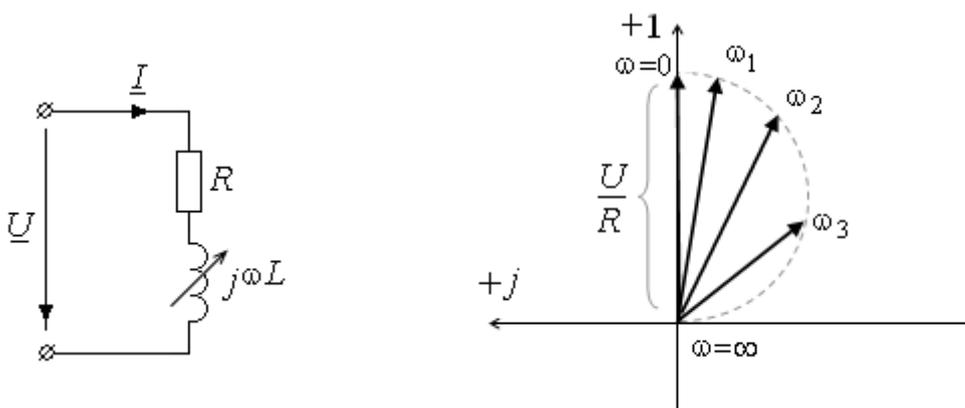


Рис. 1

Комплекс тока рассчитывается по формуле $\underline{I} = \frac{\underline{U}}{R + j\omega L} = \frac{\frac{\underline{U}}{R}}{1 + \frac{\omega L}{R} e^{j\frac{\pi}{2}}}$.

Если $\underline{U} = \text{const}$, то при изменении ω и неизменности R и L выражение удовлетворяет условию круговой диаграммы.

Модуль комплекса входного тока зависит от частоты ω :

$$I(\omega) = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$
 При $\omega \rightarrow 0$ ток максимален и совпадает по фазе с

приложенным напряжением: $I_k = \frac{U}{R}$, при частоте $\omega \rightarrow \infty$ ток равен нулю. Во всех остальных случаях характер цепи активно-индуктивный, т.е. комплекс тока отстает от комплекса напряжения на угол $\psi = \arctg\left(\frac{\omega L}{R}\right)$, при $\omega \rightarrow \infty$ $\psi = 90^\circ$. Годограф представляет собой половину дуги окружности радиусом $\frac{I_k}{2}$, расположенной в четвертой четверти (рис. 1). При изменении индуктивности L от нуля до бесконечности и неизменности R и ω выражение для комплекса тока также удовлетворяет условию круговой диаграммы. Круговая диаграмма будет аналогична круговой диаграмме на рис. 1.

При изменении сопротивления R и неизменности L и ω комплекс тока рассчитывается по формуле $\underline{I} = \frac{\underline{U}}{R + j\omega L} = \frac{\frac{\underline{U}}{\omega L}}{1 + \frac{R}{j\omega L} e^{j(-\frac{\pi}{2})}}$, выражение также удовлетворяет условию круговой диаграммы. При $R=0$ комплекс тока короткого замыкания расположен по мнимой оси $\underline{I}_k = \frac{U}{j\omega L} = \frac{U}{\omega L} \angle -\frac{\pi}{2}$, при $R=\infty$ ток равен нулю (рис. 2).

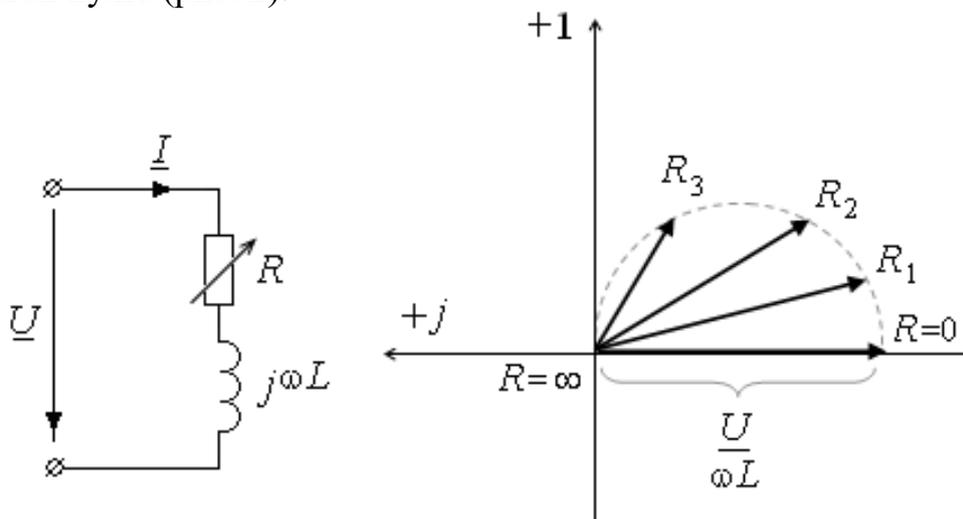


Рис. 2

Круговая диаграмма разветвленной цепи

Построим годограф входного тока при изменении емкости C емкостного элемента и неизменности остальных параметров цепи, состоящей из двух параллельных ветвей (рис. 3):

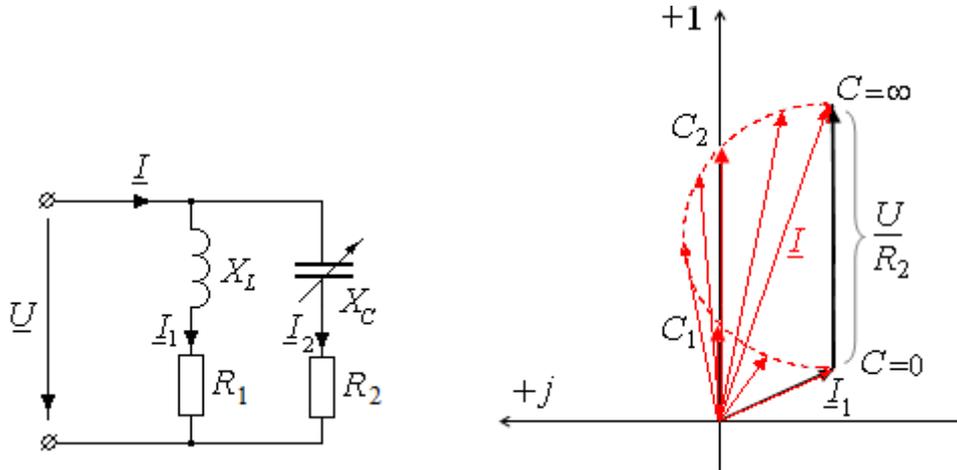


Рис. 3

Комплекс тока \underline{I}_2 рассчитывается по формуле
$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{R_2 - j\frac{1}{\omega C}} = \frac{j\omega C \underline{U}}{1 + \frac{\omega C}{1/R_2} e^{j\frac{\pi}{2}}}$$
 При изменении емкости C от нуля до

бесконечности и неизменности R и ω выражение для комплекса тока удовлетворяет условию круговой диаграммы. При $X_C=0$ ($C \rightarrow \infty$) входной ток $\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2$, причем ток \underline{I}_2 максимален: $\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{R_1 + jX_L} + \frac{\underline{U}}{R_2}$. При

$X_C \rightarrow \infty$ ($C=0$) ток $\underline{I} = \underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{R_1 + jX_L}$. Годограф входного тока также представляет собой половину дуги окружности.

Если входной ток совпадает с напряжением по фазе, то в цепи наблюдается резонанс. На годографе можно указать, при каких значениях емкости C выполняется это условие (на рис. 3 два режима резонанса при значении емкости C_1 и C_2). В некоторых случаях условие резонанса не выполнимо (годограф без совпадения входного тока и напряжения по фазе), возможен один режим резонанса.

2. Подготовка к работе

1. Для цепи на рис. 1 рассчитать токи и напряжения во всех ветвях для входного напряжения $U=7$ В и заданной частоты. Приняв фазу комплексного напряжения на входе за ноль ($\varphi_1 = \underline{U} = U \angle 0$), рассчитать комплексные потенциалы φ_2 , φ_3 и φ_4 . Параметры неидеальной катушки, емкость конденсатора, частота приведены в табл. 1; сопротивления резисторов $R_2=100$ Ом и $R_3=100$ Ом, индуктивность $L_a=0,13$ Гн.

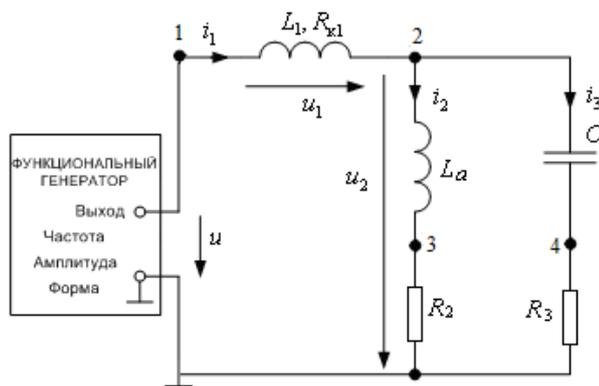


Рис. 1

По результатам расчета построить векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений.

2. Составить баланс активной и реактивной мощностей.

3. Для цепи рис. 3П построить круговую диаграмму* (геометрическое место конца вектора тока генератора) при изменении емкости конденсатора от нуля до бесконечности. Частота $f=50$ Гц. Параметры остальных элементов $L_a=0,13$ Гн, $R_1=68$ Ом, $R_2=47$ Ом.

4. Для цепи рис. 4П построить круговую диаграмму* (геометрическое место конца вектора тока генератора) при изменении сопротивления резистора от нуля до бесконечности. Частота $f=50$ Гц. Параметры остальных элементов $L_a=0,13$ Гн, $R_1=68$ Ом, $C_2=68$ мкФ.

Таблица 1

| Номер бригады | Частота f , Гц | L_1 , мГн | $R_{к1}$, Ом | C , мкФ |
|---------------|------------------|-------------|---------------|-----------|
| 1 | 50 | 90 | 90 | 10 |
| 2 | 50 | 90 | 90 | 22 |
| 3 | 50 | 70 | 70 | 47 |
| 4 | 50 | 60 | 60 | 56 |
| 5 | 50 | 70 | 70 | 22 |
| 6 | 50 | 80 | 80 | 10 |
| 7 | 100 | 40 | 40 | 22 |
| 8 | 100 | 30 | 30 | 33 |
| 9 | 100 | 50 | 50 | 47 |
| 10 | 100 | 60 | 60 | 6,8 |
| 11 | 100 | 70 | 70 | 10 |
| 12 | 100 | 80 | 80 | 22 |

* рекомендуется проводить построение, приняв $\underline{U} = U \angle 0$ и располагая ось +1 вертикально.

3. Содержание и порядок выполнения работы

В лабораторной работе используют: источник синусоидального напряжения из модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**; измерительные приборы блока **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ; МУЛЬТИМЕТРЫ** в режиме измерения синусоидального тока и вольтметр блока **МОДУЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ** переменного тока. Пассивные элементы цепи выбирают из блока **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ** и **МОДУЛЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ**.

Первая часть работы (опыт 1)

- Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рис. 1П протокола измерений. Установить заданные величины пассивных элементов в блоке **МОДУЛЬ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**. Катушка $L_a=0,13$ Гн выбирается из блока **МОДУЛЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ**. Измерить мультиметром активное сопротивление $R_{к1}$ катушки L_1 . Записать значения в протокол измерений.
 - Включить автоматический выключатель **QF** блока **МОДУЛЬ ПИТАНИЯ** и тумблер **Сеть** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**. Переключатель **Форма** установить в положение \sim .
 - Регулятором **Частота** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** установить необходимое значение частоты f . Регулятором **Амплитуда** установить действующее значение напряжения на входе электрической цепи 7 В (использовать прибор модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** или электронный вольтметр).
- 1.1.** Тумблер **SA2** модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** установить в положение **I2**. Измерить действующее значение входного тока i_1 ; активную мощность P , потребляемую цепью, разность фаз φ между напряжением и током на входе цепи модулем **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ**. Измеренные величины занести в табл. 1П.
- 1.2.** Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рис. 2П протокола измерений. Тумблер **SA2** модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** установить в положение **U2**. Провести измерение комплексных потенциалов, результаты занести в табл. 2П.
- Выполнить предварительные расчеты, указанные в протоколе измерений.
 - Сравнить результаты двух экспериментов, теоретических и опытных данных.

Вторая часть работы (опыт 2)

- Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рис. 3П протокола измерений. Катушка $L_a=0,13$ Гн выбирается из блока **МОДУЛЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ**. Тумблер **SA2** модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** установить в положение **I2**.
- Регулятором **Частота** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** установить значение частоты $f=50$ Гц. Регулятором **Амплитуда** установить

действующее значение напряжения на входе электрической цепи 7 В (использовать прибор модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** или электронный вольтметр).

2.1. Разомкнуть участок с емкостным элементом, измерить действующее значение входного тока i и разность фаз φ между напряжением и током на входе цепи. Меняя емкость конденсатора C в указанном диапазоне, измерить действующее значение входного тока i и разность фаз φ между напряжением и током на входе цепи. Закоротить участок с емкостным элементом, измерить действующее значение входного тока i и разность фаз φ между напряжением и током на входе цепи. Измеренные величины занести в табл. 3П.

- Результаты эксперимента нанести на построенную в Подготовке к работе круговую диаграмму. Отметить точки резонанса.

- Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рис. 4П протокола измерений. Катушка $L_a=0,13$ Гн выбирается из блока **МОДУЛЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ**. Тумблер SA2 модуля **ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ** установить в положение **I2**.

- Регулятором **Частота** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** установить значение частоты $f=50$ Гц. Регулятором **Амплитуда** установить действующее значение напряжения на входе электрической цепи 7 В.

2.2. Меняя сопротивление резистора от нуля (закоротить участок цепи) до бесконечности (разомкнуть участок цепи) в указанном диапазоне измерить действующее значение входного тока i и разность фаз φ между напряжением и током на входе цепи. Измеренные величины занести в табл. 4П.

- Результаты эксперимента нанести на построенную в Подготовке к работе круговую диаграмму. Отметить точки резонанса.

- Выключить тумблер **Сеть** модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и автоматический выключатель **QF** модуля питания.

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 5

Первая часть работы (опыт 1)

Заданные параметры:

- напряжение $U =$ В;
- частота $f =$ Гц;
- индуктивности катушек: $L_1 =$ мГн; $L_a =$ мГн;
- емкость конденсатора $C =$ мкФ;
- сопротивления резисторов: $R_2 = 100$ Ом; $R_3 = 100$ Ом;
- резистивное сопротивление неидеальной катушки $R_{к1} =$ Ом.

1.1. Схема исследуемой электрической цепи представлена на рис. 1П.

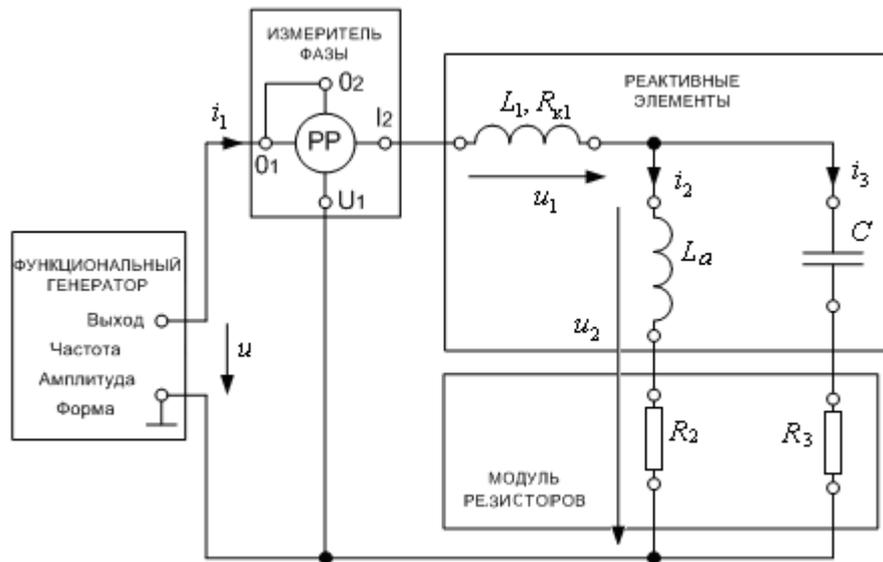


Рис. 1П

Результаты измерений представлены в табл. 1П.

Таблица 1П

| опыт | $U, В$ | $I_1, мА$ | $\varphi_{и} - \varphi_{i1}, ^\circ$ | $P, Вт$ |
|------|--------|-----------|--------------------------------------|---------|
| 1.1 | | | | |

Сравнение теоретических и опытных данных (опыт 1.1):

| | $\underline{I}_1, мА$ | $\underline{Z}_{вх} = \underline{U} / \underline{I}_1, Ом$ | $P, Вт$ |
|-------------|-----------------------|--|---------|
| теория | | | |
| эксперимент | | | |

1.2. Схема исследуемой электрической цепи представлена на рис. 2П.

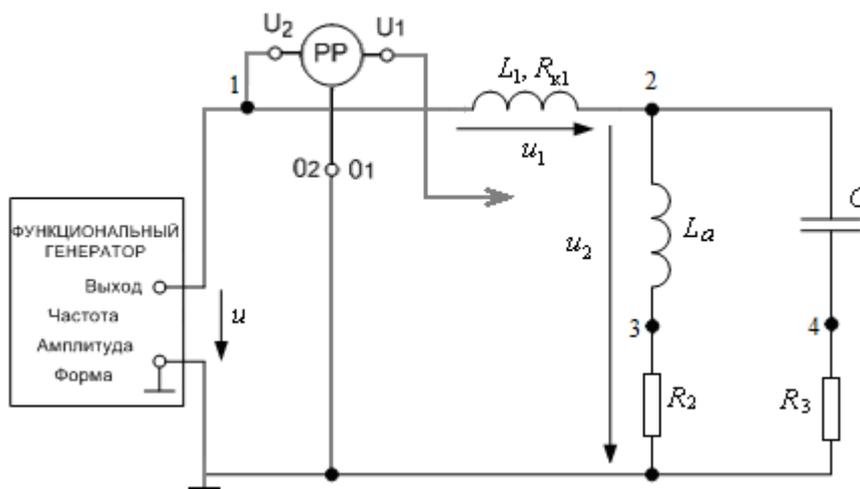


Рис. 2П

Результаты измерений представлены в табл. 2П.

Таблица 2П

| опыт | $\underline{U}=\varphi_1, \text{ В}$ | $\underline{U}_2=\varphi_2, \text{ В}$ | $\varphi_3, \text{ В}$ | $\varphi_4, \text{ В}$ |
|------|--------------------------------------|--|------------------------|------------------------|
| 1.2 | | | | |

Расчет по результатам эксперимента (опыт 2.2):

| $\underline{U}_1 = \varphi_1 - \varphi_2, \text{ В}$ | $\underline{U}_{R2} = \varphi_3, \text{ В}$ | $\underline{I}_2 = \underline{U}_{R2} / R_2, \text{ мА}$ | $\underline{U}_{R3} = \varphi_4, \text{ В}$ | $\underline{I}_3 = \underline{U}_{R3} / R_3, \text{ мА}$ |
|--|---|--|---|--|
| | | | | |

Сравнение теоретических и опытных данных (опыт 1):

| | $\underline{U}_1, \text{ В}$ | $\underline{I}_2, \text{ мА}$ | $\underline{I}_3, \text{ мА}$ | $\varphi_1, \text{ В}$ | $\varphi_2, \text{ В}$ | $\varphi_3, \text{ В}$ | $\varphi_4, \text{ В}$ |
|-------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| теория | | | | | | | |
| эксперимент | | | | | | | |

Проверка выполнения законов Кирхгофа:

✓ $\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}_3$

✓ $\underline{U} = \underline{U}_1 + \underline{U}_2$

Расчёт баланса активной и реактивной мощностей:

Вторая часть работы (опыт 2)

2.1. Схема исследуемой электрической цепи представлена на рис. 3П.

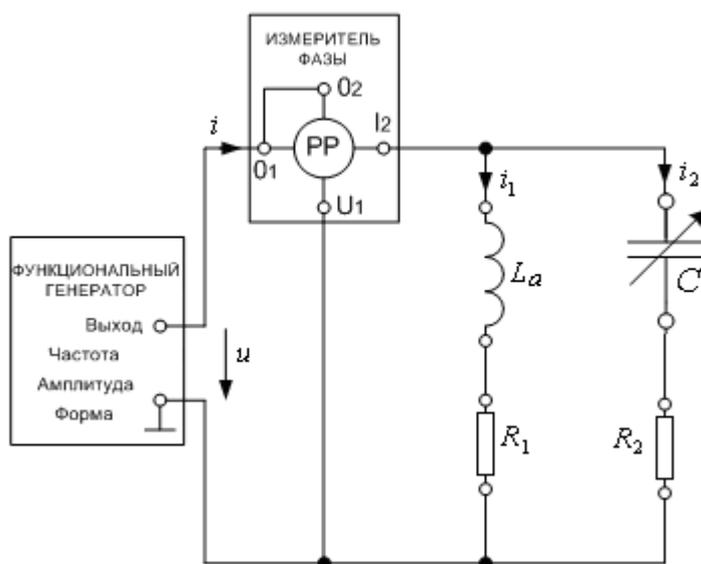


Рис. 3П

Частота $f=50$ Гц.

Параметры элементов $L_a=0,13$ Гн, $R_1=68$ Ом, $R_2=47$ Ом.

Результаты измерений представлены в табл. 3П.

Таблица 3П

| Значение параметра C , мкФ | Показание прибора | | | Результаты эксперимента ($\underline{U} = 7 \angle 0$ В) I , мА | Теоретический расчет ($\underline{U} = 7 \angle 0$ В) I , мА |
|----------------------------------|-------------------|----------|-----------------------------------|---|--|
| | U , В | I , мА | $\varphi_u - \varphi_i$, град | | |
| разомкнутый участок цепи | 7 | | | | |
| 3,3 | 7 | | | | |
| 4,7 | 7 | | | | |
| 6,8 | 7 | | | | |
| 10 | 7 | | | | |
| 22 | 7 | | | | |
| 33 | 7 | | | | |
| 47 | 7 | | | | |
| 56 | 7 | | | | |
| 68 | 7 | | | | |
| 82 | 7 | | | | |
| короткозамкнутый участок цепи | 7 | | | | |

2.2. Схема исследуемой электрической цепи представлена на рис. 4П.

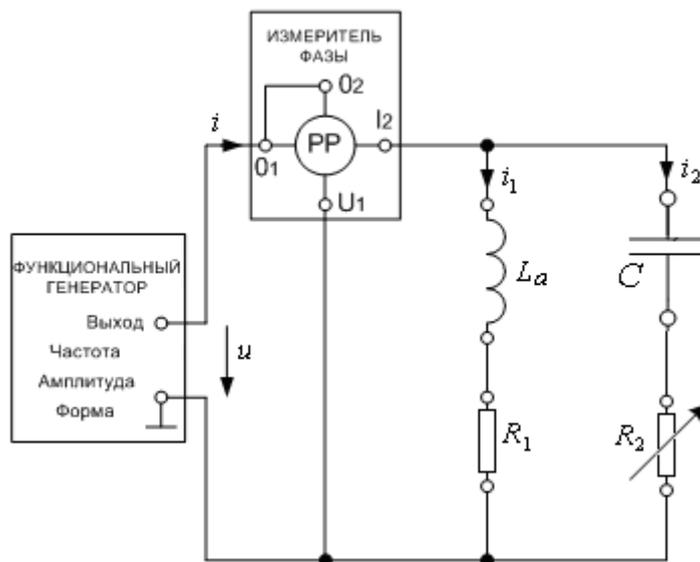


Рис. 4П

Частота $f=50$ Гц.

Параметры элементов $L_a=0,13$ Гн, $R_1=68$ Ом, $C=68$ мкФ.

Результаты измерений представлены в табл. 4П.

Таблица 4П

| Значение параметра R_2 , Ом | Показание прибора | | | Результаты эксперимента ($\underline{U} = 7 \angle 0$ В) \underline{I} , мА | Теоретический расчет ($\underline{U} = 7 \angle 0$ В) \underline{I} , мА |
|------------------------------------|-------------------|----------|-----------------------------------|---|--|
| | U , В | I , мА | $\varphi_u - \varphi_i$, град | | |
| 0 (короткозамкнутый участок) | 7 | | | | |
| 10 | 7 | | | | |
| 47 | 7 | | | | |
| 68 | 7 | | | | |
| 100 | 7 | | | | |
| 150 | 7 | | | | |
| 220 | 7 | | | | |
| 330 | 7 | | | | |
| ∞ (разомкнутый участок) | 7 | | | | |

4. Содержание и оформление отчета

1. По экспериментальным данным двух опытов (табл. 1П и табл. 2П протокола измерений) построить в масштабе векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений.

2. Осуществить проверку выполнения законов Кирхгофа и баланса активной и реактивной мощностей по экспериментальным данным (рис. 2П).

3. Сравнить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы, построенные в Подготовке к работе и по экспериментальным данным. Объяснить различие.

4. Сравнить действующие значения напряжения на элементах, рассчитанные в Подготовке к работе, с экспериментальными данными.

5. Дополнить табл. 3П и табл. 4П протокола измерений теоретическим расчетом комплекса входного тока при изменении параметра участка¹. Сравнить результаты эксперимента и теоретического расчета. Построить в масштабах векторные диаграммы токов по результатам измерений. Сравнить с круговыми диаграммами, построенными в Подготовке к работе.

6. Сделать письменный вывод о проделанной работе.

5. Контрольные вопросы и задания

Все ответы на контрольные вопросы должны сопровождаться необходимыми схемами, формулами, численными результатами расчётов, графическими иллюстрациями (графиками, диаграммами и т.д.) и содержать однозначный ответ на поставленные вопросы.

1. Как по результатам измерений, представленных в табл. 2П, построить векторную диаграмму токов и рассчитать $Z_{вх}$?

2. По экспериментальным данным табл. 2П рассчитать параметры пассивных элементов, сравнить с заданными.

3. Полагая $R_2=R_3=0$ (рис. 1П), определите емкость конденсатора C , при которой показание ваттметра P будет равно нулю. Параметры остальных элементов и частоту источника выбрать из табл. 1.

4. Полагая $R_2=R_3=0$ (рис. 1П), определите индуктивность идеальной катушки L_a , при которой показание ваттметра P будет равно нулю. Параметры остальных элементов и частоту источника выбрать из табл. 1.

5. Полагая $R_2=R_3=0$ (рис. 1П), определите частоту источника, при которой показание ваттметра P будет равно нулю. Параметры остальных элементов выбрать из табл. 1.

6. Как изменится круговая диаграмма цепи (рис. 3П), если:

а) $R_1=0$; б) $L_a=0$ в) $R_2=0$.

7. Как изменится круговая диаграмма цепи (рис. 4П), если:

а) $R_1=0$; б) $L_a=0$ в) $R_2=0$.

8. Как по круговой диаграмме определить точки резонанса? Сколько точек резонанса возможно для цепи на рис. 3П и рис. 4П?

9. Как изменить параметры элементов цепи на рис. 3П, чтобы наблюдалась одна точка резонанса или резонанса не было?

¹ Достаточно для 3-4 значений параметров, включая значения 0 и ∞ .