

# 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»

<b>Студент:</b>	
<b>Группа:</b>	
<b>Бригада:</b>	
<b>Подпись студента:</b>	
<b>Дата выполнения:</b>	
<b>Дата защиты:</b>	
<b>Оценка:</b>	
<b>Преподаватель:</b>	
<b>Подпись преподавателя:</b>	

Москва 2024

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  $\sum_j \underline{I}_j = 0$  и

$\sum_j \underline{U}_j = 0$  ( $\sum_m \underline{E}_m = \sum_n \underline{Z}_n \underline{I}_n$ ), можно получить полное математическое описание

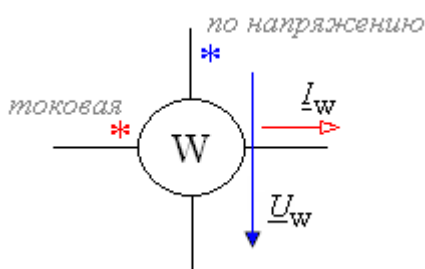
цепи в комплексной форме. Цепь в этой области описывается чисто алгебраическими уравнениями. Решив эти уравнения, т.е., определив комплексы всех токов и напряжений цепи, от последних переходят к мгновенным значениям (соответствующим синусоидальным функциям токов и напряжений). Представление синусоидальных 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  $\varphi_w$  – 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:

$$\boxed{\sum P_{\Gamma} = \sum P_{\text{пр}}}, \quad \boxed{\sum Q_{\Gamma} = \sum Q_{\text{пр}}}, \quad \boxed{\sum S_{\Gamma} = \sum S_{\text{пр}}}$$

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  $\psi$  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  $\omega$  входного напряжения от нуля до бесконечности меняется реактивное сопротивление  $\omega L$  (обозначено на схеме стрелкой). Действующее значение напряжения на входе при этом поддерживается неизменным.

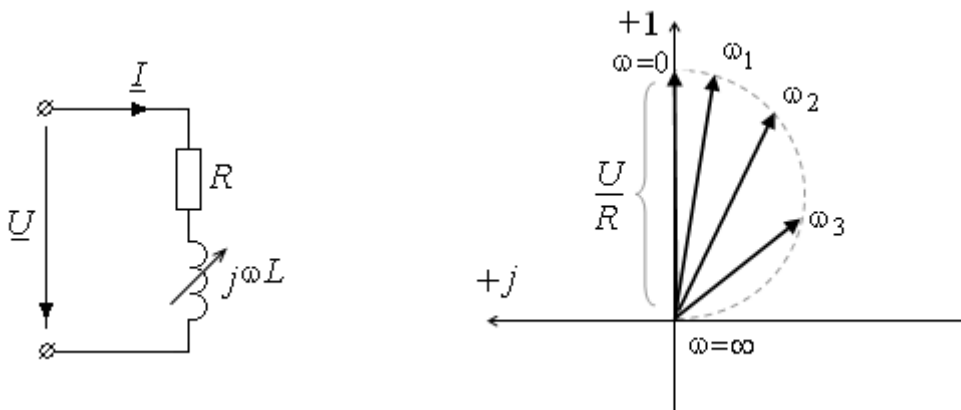


Рис. 1

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  $\omega$  и неизменности  $R$  и  $L$  выражение удовлетворяет условию круговой диаграммы.

Модуль комплекса входного тока зависит от частоты  $\omega$ :

$I(\omega) = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$ . 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  $\omega$  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  $\omega$  комплекс тока рассчитывается по формуле  $\underline{I} = \frac{\underline{U}}{R + j\omega L} = \frac{\frac{\underline{U}}{j\omega L}}{1 + \frac{R}{\omega L} e^{j(-\frac{\pi}{2})}}$ , 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).

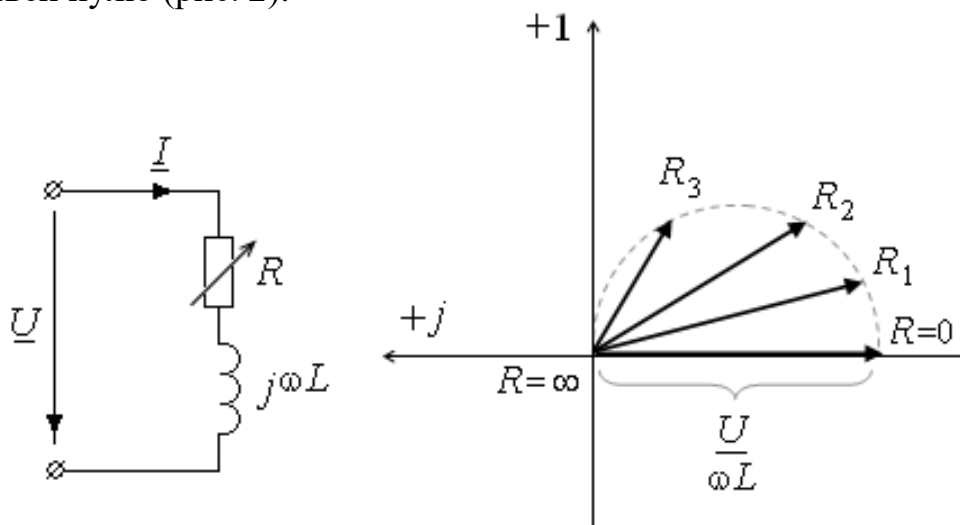


Рис. 2

### 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):

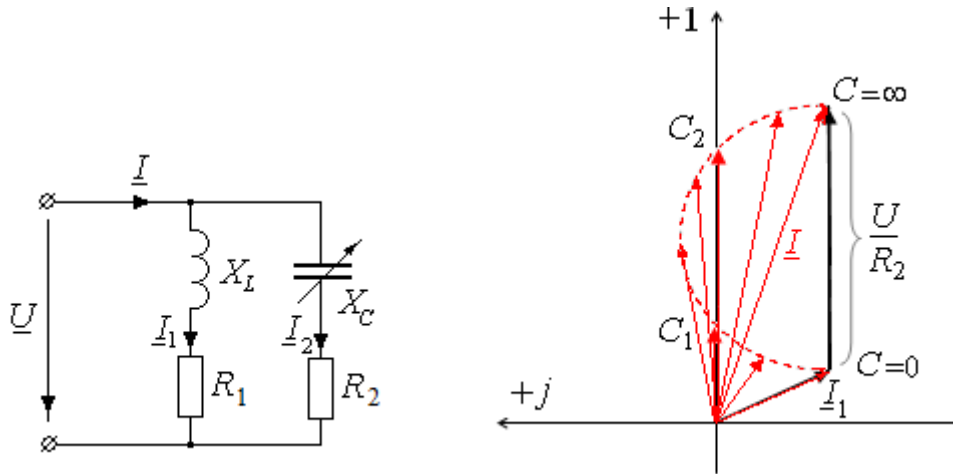


Рис. 3

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  $\omega$  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  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  и  $\varphi_4$ . 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.

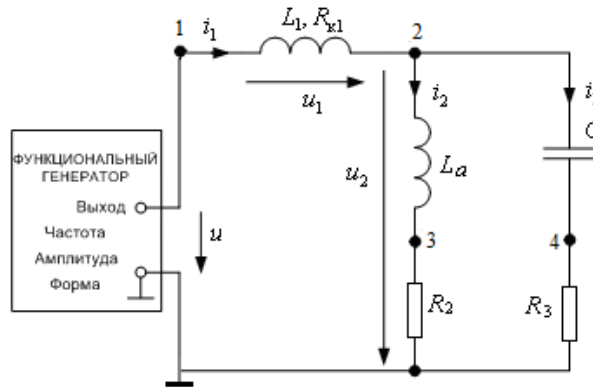


Рис. 1

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	$R_{k1}$ , 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  $\varphi$  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  $\varphi$  между напряжением и током на входе цепи. Меняя емкость конденсатора  $C$  в указанном диапазоне, измерить действующее значение входного тока  $i$  и разность фаз  $\varphi$  между напряжением и током на входе цепи. Закоротить участок с емкостным элементом, измерить действующее значение входного тока  $i$  и разность фаз  $\varphi$  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  $\varphi$  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.

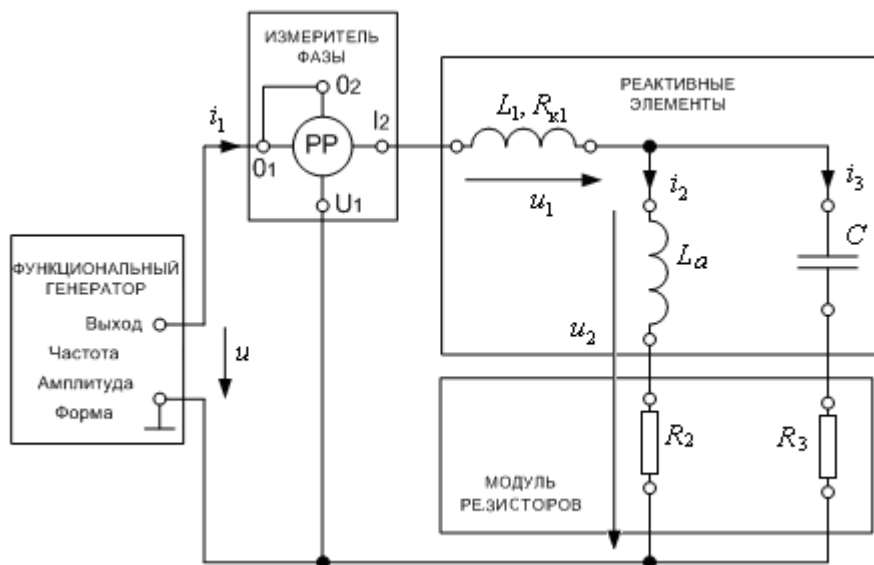


Рис. 1П

Результаты измерений представлены в табл. 1П.

Таблица 1П

опыт	$U, В$	$I_1, мА$	$\varphi_u - \varphi_{i1}, ^\circ$	$P, Вт$
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.

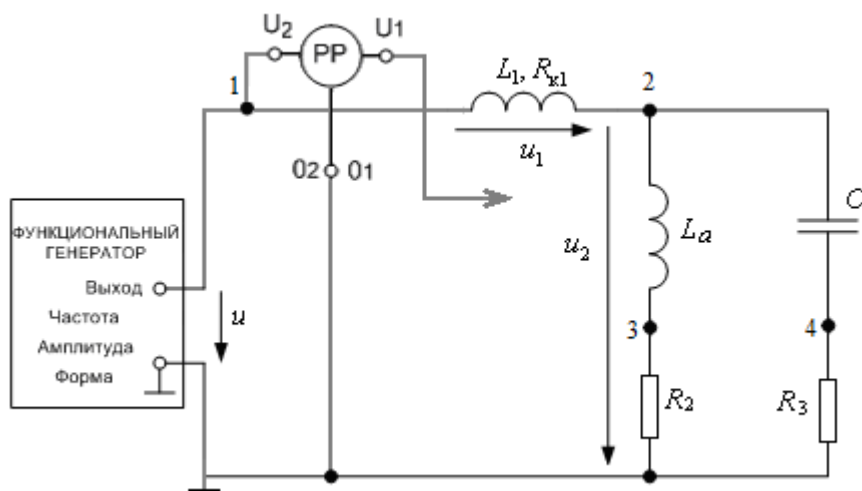


Рис. 2П

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.

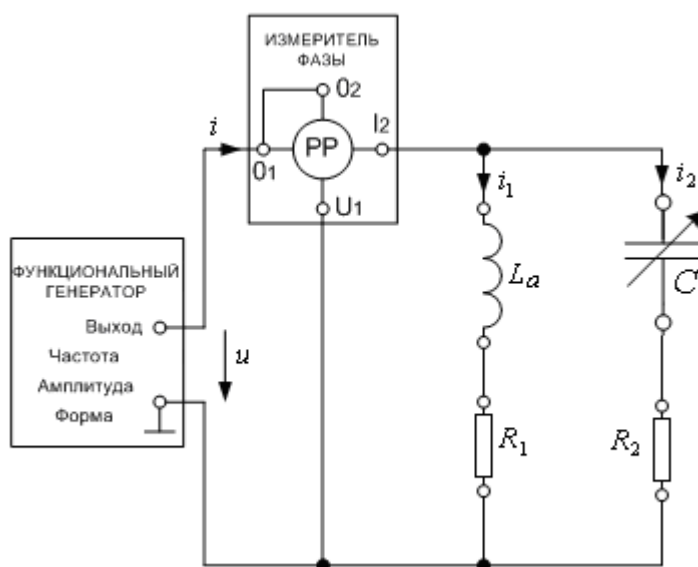


Рис. 3П

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) $\underline{I}$ , мА	Теоретический расчет ( $\underline{U} = 7 \angle 0$ В) $\underline{I}$ , 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.

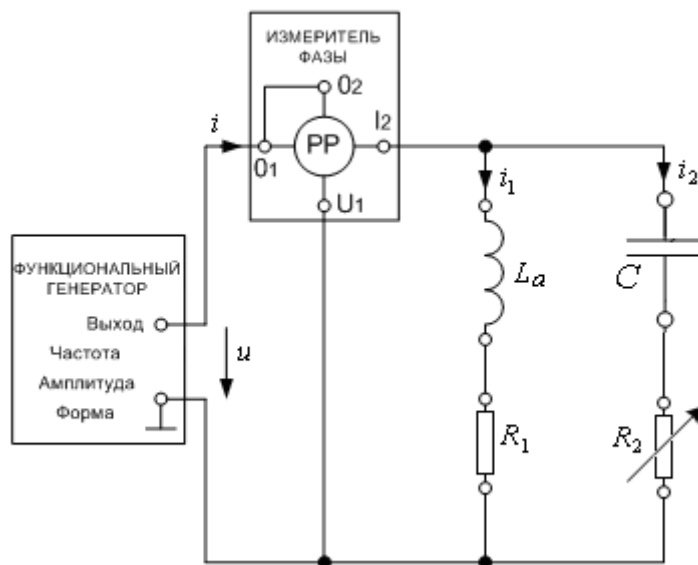


Рис. 4П

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				
$\infty$ (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 участка<sup>1</sup>. 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?

---

<sup>1</sup> Достаточно для 3-4 значений параметров, включая значения 0 и  $\infty$ .