

**Цель работы:** научиться экспериментально определять действующие значения и начальные фазы токов и напряжений в цепи; освоить метод расчета цепей синусоидального тока комплексным методом, построение векторных диаграмм; экспериментально проверить выполнение законов Кирхгофа.

## 1. Задание на предварительный расчет.

### 1.1. Схема замещения электрической цепи

Схема электрической цепи для предварительного расчета представлена на рисунке 1. Формируем комплексную схему замещения для данной схемы, см. рисунок 2.

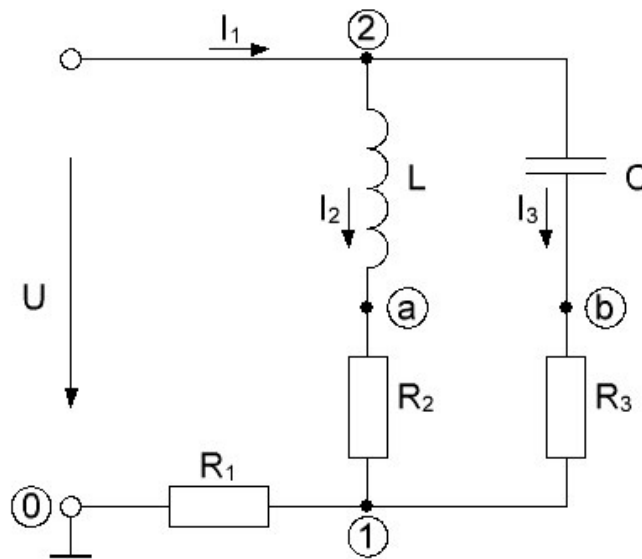


Рисунок 1 – Схема электрической цепи для предварительного расчета

Исходные данные для расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

№ стенда	Номер варианта	f, кГц	Ветвь L, R <sub>2</sub>		Ветвь C, R <sub>3</sub>	
			L	φ, град	C	φ, град
13	1	1	L <sub>H</sub>	20	C <sub>D</sub>	55

Параметры цепи:

$$\begin{aligned}
 U &= 2 \text{ В}; \\
 L &= L_H = 44,1 \text{ мГн}; \\
 C_D &= 101,8 \text{ нФ}.
 \end{aligned}$$

Определяем сопротивление катушки индуктивности и емкости на заданной частоте

$$\begin{aligned}
 X_L &= 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 44,1 \cdot 10^{-3} = 277 \text{ Ом}, \\
 X_C &= \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 101,8 \cdot 10^{-9}} = 1563,4 \text{ Ом},
 \end{aligned}$$

Активные сопротивления ветвей равны

$$R_1 = 100 \text{ Ом};$$

$$R_2 = \frac{X_L}{\operatorname{tg} \varphi_2} = \frac{277}{\operatorname{tg} 20^\circ} = 761 \text{ Ом},$$

$$R_3 = \frac{X_C}{\operatorname{tg} \varphi_3} = \frac{1563,4}{\operatorname{tg} 55^\circ} = 1095 \text{ Ом}.$$

Комплексная схема замещения цепи представлена на рисунке 2.

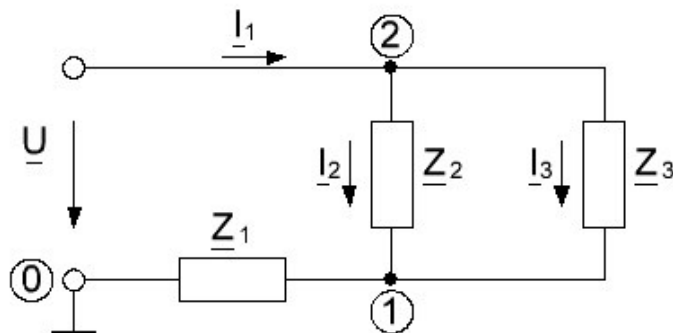


Рисунок 2 – Комплексная схема замещения цепи

## 1.2. Расчет комплексных значений токов в ветвях

Сопротивления ветвей в комплексном виде

$$\underline{Z}_1 = R_1 = 100 \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 + jX_L = 761 + j277 = 809,8e^{+j 20^\circ} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 - jX_C = 1095 - j1563,4 = 1908,7e^{-j 55^\circ} \text{ Ом},$$

Комплексное действующее напряжение источника равно

$$\underline{U} = Ue^{j0} = 2e^{j 0^\circ} \text{ В}.$$

Входное сопротивление цепи в комплексном виде:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 100 + \frac{809,8e^{+j 20^\circ} \cdot 1908,7e^{-j 55^\circ}}{761 + j277 + 1095 - j1563,4} =$$

$$= 100 + \frac{809,8e^{+j 20^\circ} \cdot 1908,7e^{-j 55^\circ}}{1856 + j1286,4} = 100 + \frac{809,8e^{+j 20^\circ} \cdot 1908,7e^{-j 55^\circ}}{2258,2e^{-j 34,7^\circ}} =$$

$$= 100 + 684,6e^{-j 0,3^\circ} = 100 + 684,5 - j3,2 = 784,5 - j3,2 = 784,6e^{-j 0,2^\circ} \text{ Ом}.$$

Токи ветвей в комплексном виде равны:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{2e^{j 0^\circ}}{784,6e^{-j 0,2^\circ}} = 2,549 \cdot 10^{-3} e^{+j 0,2^\circ} \text{ А},$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_1 \cdot \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 2,549 \cdot 10^{-3} e^{+j 0,2^\circ} \cdot \frac{1908,7e^{-j 55^\circ}}{2258,2e^{-j 34,7^\circ}} = 2,155 \cdot 10^{-3} e^{-j 20,1^\circ} \text{ А},$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_1 \cdot \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 2,549 \cdot 10^{-3} e^{+j 0,2^\circ} \cdot \frac{809,8e^{+j 20^\circ}}{2258,2e^{-j 34,7^\circ}} = 0,914 \cdot 10^{-3} e^{+j 54,9^\circ} \text{ А}.$$

Проверка расчетов:

$$\begin{aligned}\underline{I}_1 &= \underline{I}_2 + \underline{I}_3, \\ \underline{I}_2 + \underline{I}_3 &= 2,155 \cdot 10^{-3} e^{-j 20,1^\circ} + 0,914 \cdot 10^{-3} e^{+j 54,9^\circ} = (2,024 - j0,739) \cdot 10^{-3} + \\ &+ (0,525 + j0,748) \cdot 10^{-3} = (2,549 + j0,009) \cdot 10^{-3} = 2,549 \cdot 10^{-3} e^{+j 0,2^\circ} \text{ А} - \\ &\text{проверка выполняется.}\end{aligned}$$

### 1.3. Баланс мощностей

Мощность источника:

- полная мощность в комплексном виде

$$\begin{aligned}\underline{S}_И &= \underline{U} \cdot \underline{I}_1^* = 2e^{j 0^\circ} \cdot 2,549 \cdot 10^{-3} e^{-j 0,2^\circ} = 5,098 \cdot 10^{-3} e^{-j 0,2^\circ} = \\ &= 5,098 \cdot 10^{-3} - j0,018 \cdot 10^{-3} \text{ ВА};\end{aligned}$$

- активная мощность

$$P_И = 5,098 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

- реактивная мощность

$$Q_И = -0,018 \cdot 10^{-3} \text{ ВАр.}$$

Мощность приемника:

- активная мощность

$$\begin{aligned}P_П &= \underline{I}_1^2 \cdot R_1 + \underline{I}_2^2 \cdot R_2 + \underline{I}_3^2 \cdot R_3, \\ P_П &= (2,549 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 100 + (2,155 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 761 + (0,914 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1095 = 5,099 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};\end{aligned}$$

- реактивная мощность

$$\begin{aligned}Q_П &= \underline{I}_2^2 \cdot X_L + \underline{I}_3^2 \cdot (-X_C), \\ Q_П &= (2,155 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 277 + (0,914 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (-1563,4) = -0,019 \cdot 10^{-3} \text{ ВАр.}\end{aligned}$$

Погрешность расчетов составила

$$\begin{aligned}\delta_P &= \left| \frac{P_И - P_П}{P_И} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{5,098 \cdot 10^{-3} - 5,099 \cdot 10^{-3}}{5,098 \cdot 10^{-3}} \right| \cdot 100\% = 0,02\%, \\ \delta_Q &= \left| \frac{Q_И - Q_П}{Q_И} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{-0,018 \cdot 10^{-3} - (-0,019 \cdot 10^{-3})}{-0,018 \cdot 10^{-3}} \right| \cdot 100\% = 0,25\%.\end{aligned}$$

### 1.4. Расчет потенциалов точек и построение векторной диаграммы

Комплексные напряжения на элементах цепи равны

$$\begin{aligned}\underline{U}_{R,1} &= \underline{I}_1 \cdot R_1 = 2,549 \cdot 10^{-3} e^{+j 0,2^\circ} \cdot 100 = 0,255 e^{+j 0,2^\circ} \text{ В}, \\ \underline{U}_{R,2} &= \underline{I}_2 \cdot R_2 = 2,155 \cdot 10^{-3} e^{-j 20,1^\circ} \cdot 761 = 1,64 e^{-j 20,1^\circ} \text{ В}, \\ \underline{U}_{R,3} &= \underline{I}_3 \cdot R_3 = 0,914 \cdot 10^{-3} e^{+j 54,9^\circ} \cdot 1095 = 1,01 e^{+j 54,9^\circ} \text{ В}, \\ \underline{U}_L &= \underline{I}_2 \cdot jX_L = 2,155 \cdot 10^{-3} e^{-j 20,1^\circ} \cdot 277 e^{+j 90^\circ} = 0,597 e^{+j 69,9^\circ} \text{ В}, \\ \underline{U}_C &= \underline{I}_3 \cdot (-jX_C) = 0,914 \cdot 10^{-3} e^{+j 54,9^\circ} \cdot 1563,4 e^{-j 90^\circ} = 1,429 e^{-j 35,1^\circ} \text{ В}.\end{aligned}$$

Значение потенциалов точек цепи в комплексном виде равны

$$\underline{\varphi}_0 = 0 \text{ В},$$

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= \varphi_0 + \underline{U}_{R.1} = 0 + 0,255e^{+j 0,2^\circ} = 0,255e^{+j 0,2^\circ} \text{ В}, \\ \varphi_A &= \varphi_1 + \underline{U}_{R.2} = 0,255e^{+j 0,2^\circ} + 1,64e^{-j 20,1^\circ} = 1,881e^{-j 17,4^\circ} \text{ В}, \\ \varphi_B &= \varphi_1 + \underline{U}_{R.3} = 0,255e^{+j 0,2^\circ} + 1,01e^{+j 54,9^\circ} = 1,167e^{+j 44,6^\circ} \text{ В}, \\ \varphi_2 &= \varphi_3 + \underline{U} = 0 + 2e^{+j 0^\circ} = 2e^{+j 0^\circ} \text{ В}.\end{aligned}$$

Векторная диаграмма изображена на рисунке 3, масштаб построения  $M_U = 0,5 \text{ В}/10 \text{ дел}$ ,  $M_I = 1 \text{ мА}/10 \text{ дел}$ .

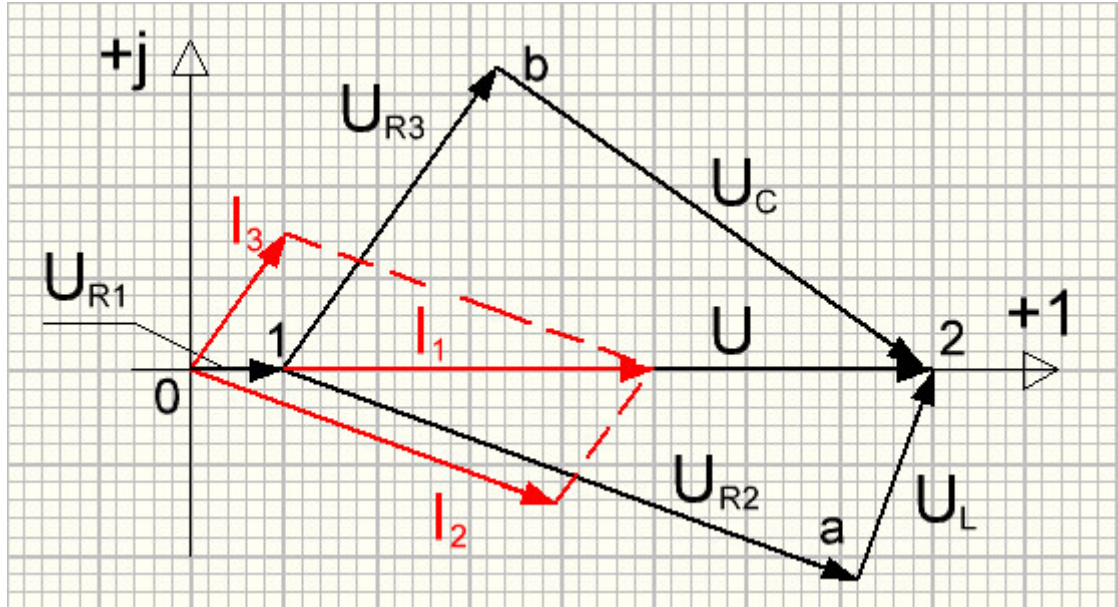


Рисунок 3 – Векторная диаграмма токов и напряжения

## 2. Задание на эксперимент

2.1. Собираем цепь для эксперимента, представленную на рисунке 4.

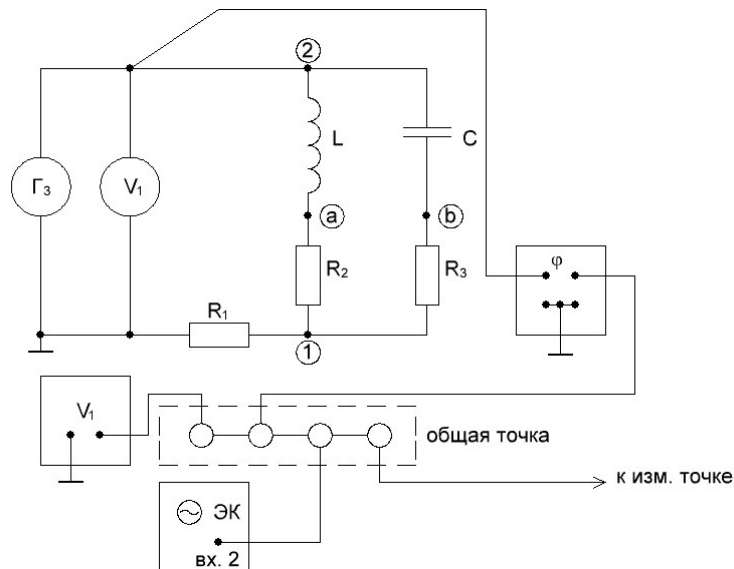


Рисунок 4 – Схема цепи для эксперимента

2.2. Устанавливаем напряжение на генераторе и частоту согласно предварительному расчету. Измеряем потенциалы и фазы точек 1, 2, а и в и заносим в таблицу 2. Значение тока  $I_1$  рассчитываем по значению потенциала  $\varphi_1$ .

2.3. Уменьшаем частоту генератора в 2 раза, выполняем эксперимент аналогично п. 2.1, результаты заносим в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента и предварительного расчета

Измеряемые величины	При частоте f			При частоте 0,5f
	По предварительному расчету	Получено при эксперименте	$\sigma$ , %	Получено при эксперименте
$I_1$ , мА	$2,549e^{+j 0,2^\circ}$			
$I_2$ , мА	$2,155e^{-j 20,1^\circ}$			
$I_3$ , мА	$0,914e^{+j 54,9^\circ}$			
$\varphi_1$ , В	$0,255e^{+j 0,2^\circ}$			
$\varphi_2$ , В	$2e^{+j 0^\circ}$			
$\varphi_A$ , В	$1,881e^{-j 17,4^\circ}$			
$\varphi_B$ , В	$1,167e^{+j 44,6^\circ}$			

Погрешность измерений рассчитываем, используя выражение

$$\delta_\varphi = \frac{|\varphi_{\text{РАС}} - \varphi_{\text{ЭКСП}}|}{\varphi_{\text{ЭКСП}}} \cdot 100\% \text{ и } \delta_I = \frac{|I_{\text{РАС}} - I_{\text{ЭКСП}}|}{I_{\text{ЭКСП}}} \cdot 100\%.$$