

**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.

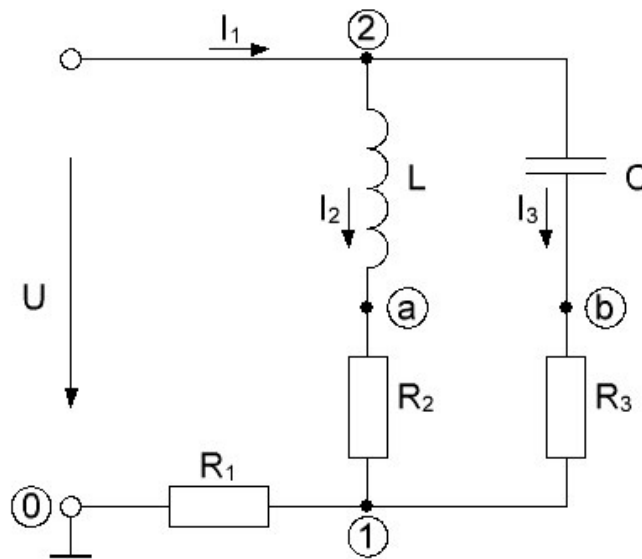


Рисунок 1 – Схема электрической цепи для предварительного расчета

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
2	1	1	L <sub>В</sub>	25	C <sub>В</sub>	45

Параметры цепи:

$$\begin{aligned}
 U &= 2 \text{ В}; \\
 L &= L_{\text{В}} = 25,3 \text{ мГн}; \\
 C &= C_{\text{В}} = 19,2 \text{ нФ}.
 \end{aligned}$$

Определяем сопротивление катушки индуктивности и емкости на заданной частоте

$$\begin{aligned}
 X_L &= 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 25,3 \cdot 10^{-3} = 159 \text{ Ом}, \\
 X_C &= \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 19,2 \cdot 10^{-9}} = 8289,3 \text{ Ом}.
 \end{aligned}$$

Активные сопротивления ветвей равны

$$R_1 = 100 \text{ Ом};$$

$$R_2 = \frac{X_L}{\operatorname{tg} \varphi_2} = \frac{159}{\operatorname{tg} 25^\circ} = 341 \text{ Ом}, \quad R_3 = \frac{X_C}{\operatorname{tg} \varphi_3} = \frac{8289,3}{\operatorname{tg} 45^\circ} = 8289,3 \text{ Ом}.$$

Комплексная схема замещения цепи представлена на рисунке 2.

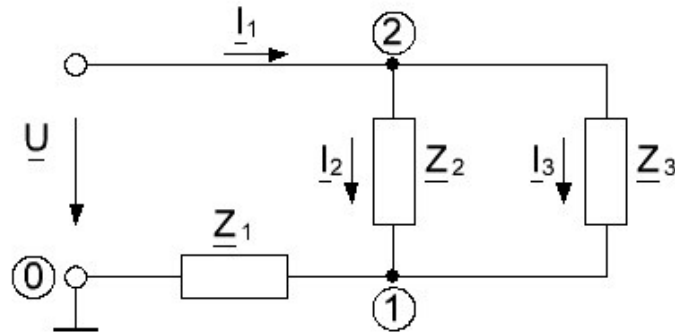


Рисунок 2 – Комплексная схема замещения цепи

## 1.2. Расчет комплексных значений токов в ветвях

Сопротивления ветвей в комплексном виде

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

$$\underline{Z}_2 = R_2 + jX_L = 341 + j159 = 376,2e^{+j 25^\circ} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 - jX_C = 8289,3 - j8289,3 = 11722,8e^{-j 45^\circ} \text{ Ом},$$

Комплексное действующее напряжение источника равно

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

Входное сопротивление цепи в комплексном виде:

$$\begin{aligned} \underline{Z} &= \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 100 + \frac{376,2e^{+j 25^\circ} \cdot 11722,8e^{-j 45^\circ}}{341 + j159 + 8289,3 - j8289,3} = \\ &= 100 + \frac{376,2e^{+j 25^\circ} \cdot 11722,8e^{-j 45^\circ}}{8630,3 - j8130,3} = 100 + \frac{376,2e^{+j 25^\circ} \cdot 11722,8e^{-j 45^\circ}}{11856,81e^{-j 43,3^\circ}} = \\ &= 100 + 371,99e^{j 23,3^\circ} = 100 + 341,68 + j147,08 = 441,68 + j147,08 = 465,53e^{j 18,4^\circ} \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Токи ветвей в комплексном виде равны:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{2e^{j 0^\circ}}{465,53e^{j 18,4^\circ}} = 4,296 \cdot 10^{-3} e^{-j 18,4^\circ} = (4,076 - j1,356) \cdot 10^{-3} \text{ А},$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_1 \cdot \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 4,296 \cdot 10^{-3} e^{-j 18,4^\circ} \cdot \frac{11722,8e^{-j 45^\circ}}{11856,81e^{-j 43,3^\circ}} = 4,247 \cdot 10^{-3} e^{-j 20,1^\circ} \text{ А},$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_1 \cdot \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 4,296 \cdot 10^{-3} e^{-j 18,4^\circ} \cdot \frac{376,2e^{+j 25^\circ}}{11856,81e^{-j 43,3^\circ}} = 0,136 \cdot 10^{-3} e^{+j 49,9^\circ} \text{ А}.$$

Проверка расчетов:

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

$\underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 4,247 \cdot 10^{-3} e^{-j 20,1^\circ} + 0,136 \cdot 10^{-3} e^{+j 49,9^\circ} = (3,988 - j1,459) \cdot 10^{-3} + (0,088 + j0,104) \cdot 10^{-3} = (4,076 - j1,355) \cdot 10^{-3} = 4,296 \cdot 10^{-3} e^{-j 18,4^\circ} \text{ А}$  – проверка выполняется.

### 1.3. Баланс мощностей

Мощность источника:

- полная мощность в комплексном виде

$$\underline{S}_{\text{И}} = \underline{U} \cdot \underline{I}_1^* = 2e^{j 0^\circ} \cdot 4,296 \cdot 10^{-3} e^{j 18,4^\circ} = 8,592 \cdot 10^{-3} e^{j 18,4^\circ} = 8,153 \cdot 10^{-3} + j2,712 \cdot 10^{-3} \text{ ВА};$$

- активная мощность

$$P_{\text{И}} = 8,153 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

- реактивная мощность

$$Q_{\text{И}} = 2,712 \cdot 10^{-3} \text{ ВАр.}$$

Мощность приемника:

- активная мощность

$$P_{\text{П}} = \underline{I}_1^2 \cdot R_1 + \underline{I}_1^2 \cdot R_1 + \underline{I}_3^2 \cdot R_3, \\ P_{\text{П}} = (4,296 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 100 + (4,247 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 341 + (0,136 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 8289,3 = 8,149 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

- реактивная мощность

$$Q_{\text{П}} = \underline{I}_2^2 \cdot X_L + \underline{I}_3^2 \cdot (-X_C), \\ Q_{\text{П}} = (4,247 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 159 - (0,136 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 8289,3 = 2,715 \cdot 10^{-3} \text{ ВАр.}$$

Погрешность расчетов составила

$$\delta_P = \left| \frac{P_{\text{И}} - P_{\text{П}}}{P_{\text{И}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{8,153 \cdot 10^{-3} - 8,149 \cdot 10^{-3}}{8,153 \cdot 10^{-3}} \right| \cdot 100\% = 0,05\%, \\ \delta_Q = \left| \frac{Q_{\text{И}} - Q_{\text{П}}}{Q_{\text{И}}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{2,712 \cdot 10^{-3} - 2,715 \cdot 10^{-3}}{2,712 \cdot 10^{-3}} \right| \cdot 100\% = 0,1\%.$$

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

Комплексные напряжения на элементах цепи равны

$$\underline{U}_{R.1} = \underline{I}_1 \cdot R_1 = 4,296 \cdot 10^{-3} e^{-j 18,4^\circ} \cdot 100 = 0,429 e^{-j 18,4^\circ} \text{ В}, \\ \underline{U}_{R.2} = \underline{I}_2 \cdot R_2 = 4,247 \cdot 10^{-3} e^{-j 20,1^\circ} \cdot 341 = 1,448 e^{-j 20,1^\circ} \text{ В}, \\ \underline{U}_{R.3} = \underline{I}_3 \cdot R_3 = 0,136 \cdot 10^{-3} e^{+j 49,9^\circ} \cdot 8289,3 = 1,127 e^{+j 49,9^\circ} \text{ В}, \\ \underline{U}_L = \underline{I}_2 \cdot jX_L = 4,247 \cdot 10^{-3} e^{-j 20,1^\circ} \cdot 159 e^{+j 90^\circ} = 0,675 e^{j 69,9^\circ} \text{ В}, \\ \underline{U}_C = \underline{I}_3 \cdot (-jX_C) = 0,136 \cdot 10^{-3} e^{+j 49,9^\circ} \cdot 8289,3 e^{-j 90^\circ} = 1,127 e^{-j 40,1^\circ} \text{ В}.$$

Значение потенциалов точек цепи в комплексном виде равны

$$\underline{\varphi}_0 = 0 \text{ В}, \\ \underline{\varphi}_1 = \underline{\varphi}_0 + \underline{U}_{R.1} = 0 + 0,429 e^{-j 18,4^\circ} = 0,429 e^{-j 18,4^\circ} \text{ В},$$

$$\begin{aligned}\underline{\varphi}_A &= \underline{\varphi}_1 + \underline{U}_{R.2} = 0,429e^{-j 18,4^\circ} + 1,448e^{-j 20,1^\circ} = 1,878e^{-j 19,7^\circ} \text{ В}, \\ \underline{\varphi}_B &= \underline{\varphi}_1 + \underline{U}_{R.3} = 0,429e^{-j 18,4^\circ} + 1,127e^{+j 49,9^\circ} = 1,347e^{+j 32,6^\circ} \text{ В}, \\ \underline{\varphi}_2 &= \underline{\varphi}_3 + \underline{U} = 0 + 2e^{+j 0^\circ} = 2e^{+j 0^\circ} \text{ В}.\end{aligned}$$

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

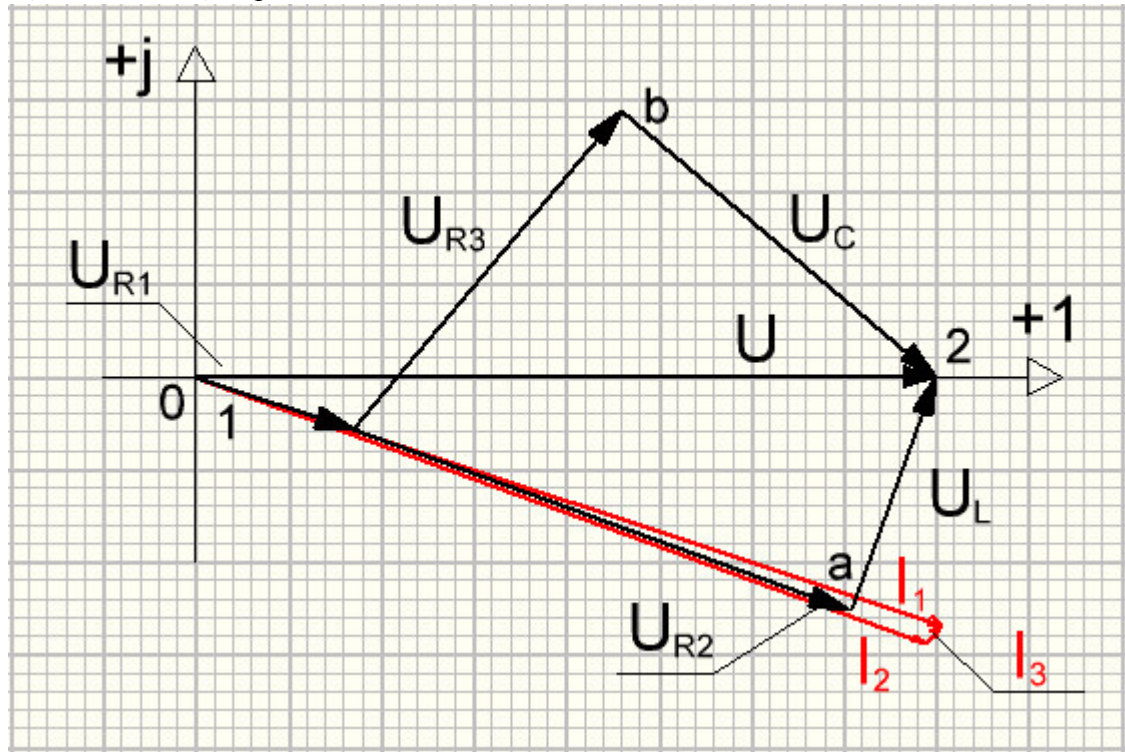


Рисунок 3 – Векторная диаграмма токов и напряжения

## 2. Задание на эксперимент

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

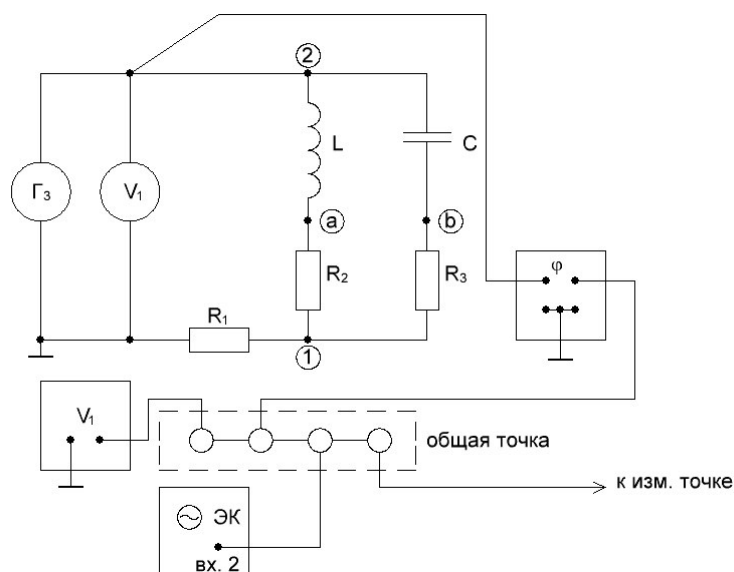


Рисунок 4 – Схема цепи для эксперимента

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	$4,296e^{-j 18,4^\circ}$			
$I_2$ , мА	$4,247e^{-j 20,1^\circ}$			
$I_3$ , мА	$0,136e^{+j 49,9^\circ}$			
$\varphi_1$ , В	$0,429e^{-j 18,4^\circ}$			
$\varphi_2$ , В	$2e^{+j 0^\circ}$			
$\varphi_A$ , В	$1,878e^{-j 19,7^\circ}$			
$\varphi_B$ , В	$1,347e^{+j 32,6^\circ}$			

Погрешность измерений рассчитываем, используя выражение

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