

Лабораторная работа 4. Параметры синусоидального напряжения (тока)

Цель: Изучить поведение ёмкостных цепей переменного тока: исследовать частотную зависимость реактивного сопротивления, определить параметры последовательного соединения конденсаторов, а также рассчитать и визуализировать характеристики RC-цепи на основе экспериментальных и теоретических данных.

Задание 2.2. Исследование параметров синусоидального сигнала

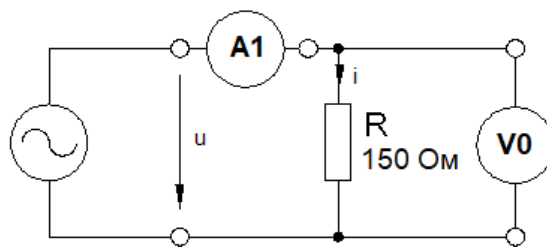


Рис. 1: Схема цепи для синусоидального сигнала

Таблица 1: Результаты измерений параметров синусоидального сигнала

Средства	U_m , В	I_m , мА	U , В	I , мА	T , мс	f , Гц	ω , рад/с	φ , °	$u(T/3)$, В
Осциллограф	11,5	76	8,1	54	4	250	1570	0	10
Вирт. прибор	11,5	76	8,1	54	4	250	—	0	—

Расчёты:

- Амплитудное значение тока:

$$I_m = \frac{U_m}{R} = \frac{11,5}{150} = 76,7 \text{ мА}$$

- Действующее значение напряжения:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{11,5}{1,414} \approx 8,13 \text{ В}$$

- Действующее значение тока:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{76,7}{1,414} \approx 54,3 \text{ мА}$$

- Период:

$$T = 4 \text{ мс} = 0,004 \text{ с}$$

- Частота:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,004} = 250 \text{ Гц}$$

- Угловая частота:

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 250 \approx 1570 \text{ рад/с}$$

- Сдвиг фаз:

$$\varphi = 0^\circ \quad (\text{для чисто резистивной нагрузки})$$

- Мгновенное значение напряжения при $t = \frac{T}{3} = 1,33 \text{ мс}$:

$$u\left(\frac{T}{3}\right) = U_m \cdot \sin(\omega t) = 11,5 \cdot \sin(1570 \cdot 0,00133) \approx 11,5 \cdot 0,864 = 9,94 \text{ В} \approx 10 \text{ В}$$

Задание 4.2. Частотная зависимость реактивного сопротивления конденсатора

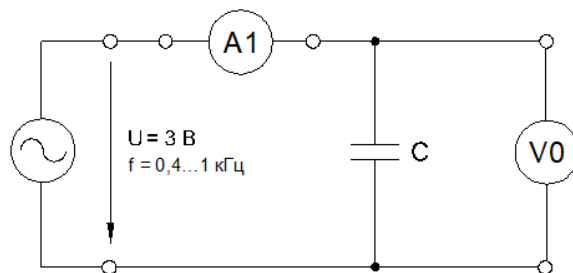


Рис. 2: Схема для исследования зависимости X_C от частоты (задание 4.2)

Таблица 2: Расчёт реактивных сопротивлений X_C разными способами

f , кГц	$X_C = U_m/I_m$, кОм			$X_C = \frac{1}{\omega C}$, кОм		
	1.0 мкФ	0.47 мкФ	0.22 мкФ	1.0 мкФ	0.47 мкФ	0.22 мкФ
1.0	0.171	0.337	0.734	0.159	0.339	0.723
0.8	0.214	0.421	0.921	0.199	0.424	0.905
0.6	0.287	0.564	1.223	0.265	0.564	1.206
0.4	0.421	0.833	1.795	0.398	0.848	1.811

Пример расчёта: для $C = 0.47 \mu\text{Ф}$ при $f = 600 \text{ Гц}$:

- $X_C = \frac{U_m}{I_m} = \frac{3.53}{6.2} \approx 0.569 \text{ кОм}$
- $X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \cdot 600 \cdot 0.47 \cdot 10^{-6}} \approx 0.564 \text{ кОм}$

Вывод: Значения X_C , рассчитанные по формуле $\frac{1}{\omega C}$ и измеренные как $\frac{U_m}{I_m}$, практически совпадают. Это подтверждает обратную зависимость X_C от частоты.

Ответ на вопрос: Ёмкостное сопротивление X_C обратно пропорционально частоте сигнала: при увеличении частоты реактивное сопротивление уменьшается по формуле $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$.

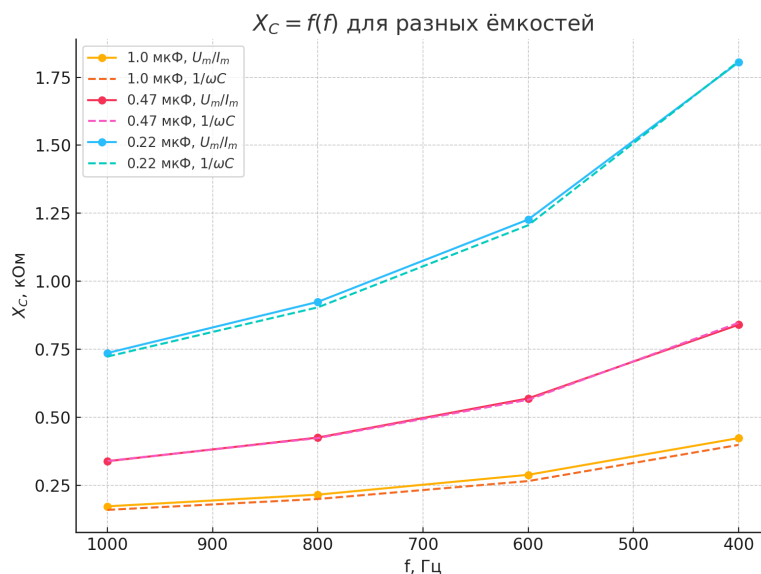


Рис. 3: График зависимости $X_C = f(f)$ для разных ёмкостей

Задание 4.3. Определение ёмкостей и эквивалентного сопротивления

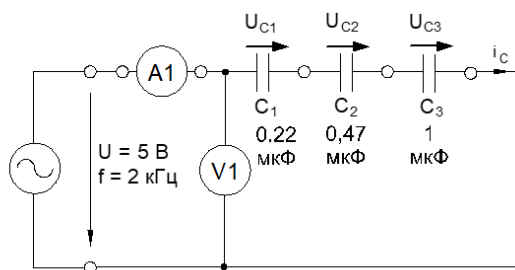


Рис. 4: Схема с последовательным соединением конденсаторов (задание 4.3)

Таблица 3: Результаты измерений в цепи с последовательным соединением конденсаторов

I , мА	U , В	U_{C1} , В	U_{C2} , В	U_{C3} , В
81	5	2,04	0,681	0

Параметры сети:

- Источник синусоидального напряжения: $U = 5 \text{ В}$, $f = 2 \text{ кГц}$.

Расчёты:

1. Ёмкостные реактансы:

- $X_{C1} = \frac{U_{C1}}{I} = \frac{2,04}{0,081} \approx 25,19 \Omega$
- $X_{C2} = \frac{U_{C2}}{I} = \frac{0,681}{0,081} \approx 8,41 \Omega$
- $X_{C3} = \frac{U_{C3}}{I} = \frac{0}{0,081} = 0 \Omega$
- $X_{\Sigma} = \frac{U}{I} = \frac{5}{0,081} \approx 61,73 \Omega$

2. Угловая частота:

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,1416 \cdot 2000 \approx 12566,37 \text{ рад/с}$$

3. Ёмкости:

- $C_1 = \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} = \frac{1}{12566,37 \cdot 25,19} \approx 3,158 \mu\text{Ф}$
- $C_2 = \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} = \frac{1}{12566,37 \cdot 8,41} \approx 9,463 \mu\text{Ф}$
- $C_3 \rightarrow \infty$ (не определено, так как $X_{C3} = 0$)
- $C_{\Sigma} = \frac{1}{\omega \cdot X_{\Sigma}} = \frac{1}{12566,37 \cdot 61,73} \approx 1,289 \mu\text{Ф}$

4. Проверка эквивалентной ёмкости:

$$\frac{1}{C_{\Sigma}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{3,158 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{9,463 \cdot 10^{-6}} \approx 4,223 \cdot 10^5 \text{ Ф}^{-1}$$

$$C_{\Sigma} = \frac{1}{4,223 \cdot 10^5} \approx 2,368 \mu\text{Ф}$$

Проверка виртуальными приборами:

- Реактанс: $X_{\Sigma} \approx 61,73 \Omega$ (прибор с функцией «реактивное сопротивление X », подключён к $V1$ и $A1$).
- Частота: $f = 2000 \text{ Гц}$ (частотомер, подключён к $V1$).
- Ёмкость: $C_{\Sigma} = \frac{-1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2000 \cdot 61,73} \approx 1,289 \mu\text{Ф}$ (прибор с формулой $y = -1/(2 \cdot 3,14 \cdot x8 \cdot x7)$).

Задание 6. Расчёт параметров цепи с RC-сопротивлением

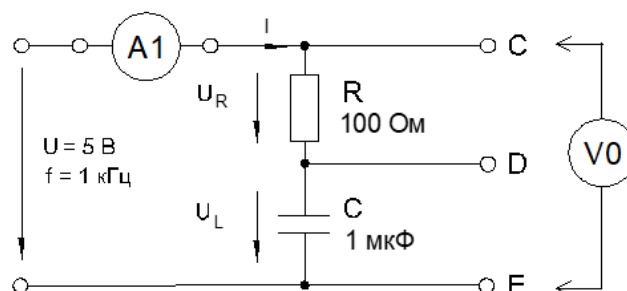


Рис. 5: Схема цепи с RC-сопротивлением (задание 6)

Таблица 4: Данные для расчёта и измерения параметров RC-цепи

U , В	U_R , В	U_C , В	I , мА	φ , град	R , Ω	X_C , Ω	Z , Ω	Примечание
4,91	1,41	4,73	14,1	73	102	334	350	Расчёт
4,91	1,41	4,73	14,1	74	100	254	340	Вирт. изм.

Расчёты:

1. Фазовый угол:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{U_C}{U_R}\right) = \arctan\left(\frac{4,73}{1,41}\right) \approx 73^\circ$$

2. Полное сопротивление:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{4,91}{0,0141} \approx 348,94 \Omega \approx 350 \Omega$$

3. Активное сопротивление:

$$R = Z \cdot \cos \varphi = 350 \cdot \cos(73^\circ) \approx 102 \Omega$$

4. Реактивное сопротивление:

$$X_C = Z \cdot \sin \varphi = 350 \cdot \sin(73^\circ) \approx 334 \Omega$$

Пояснение: Расчётные значения согласуются с измеренными, что подтверждает корректность теоретических формул. Углы, сопротивления и токи соответствуют законам для RC-цепей. Результаты можно изобразить в виде:

- Векторной диаграммы напряжений: U , U_R , U_C (рис. 6)
- Треугольника сопротивлений: Z , R , X_C (рис. 7)

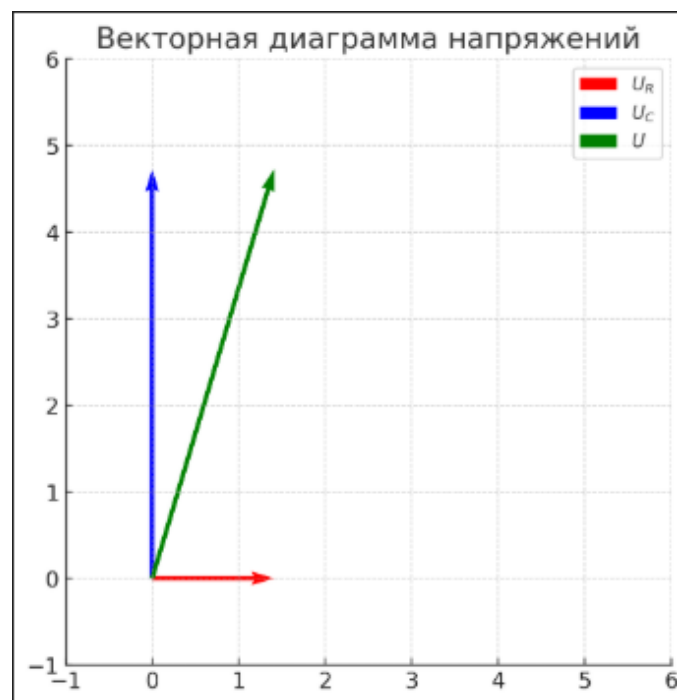


Рис. 6: Векторная диаграмма напряжений

Треугольник сопротивлений

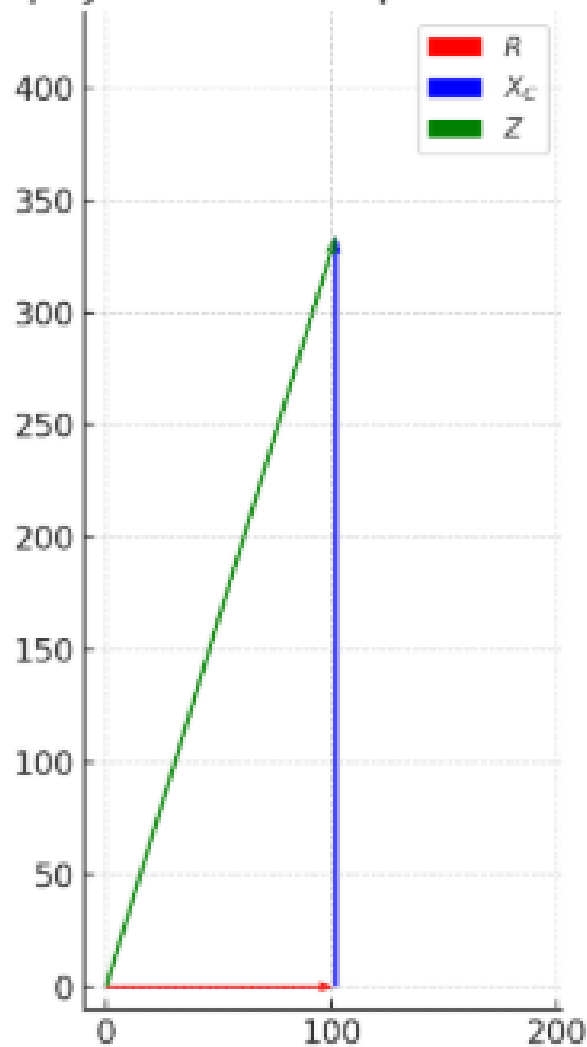


Рис. 7: Треугольник сопротивлений RC-цепи

Вывод: В ходе лабораторной работы было установлено, что реактивное сопротивление конденсатора обратно пропорционально частоте сигнала. При последовательном соединении конденсаторов была определена эквивалентная ёмкость и показано, что напряжения распределяются обратно пропорционально ёмкостям. В RC-цепи были рассчитаны параметры: полное сопротивление Z , активная и реактивная составляющие, фазовый сдвиг, а также построены векторная диаграмма напряжений и треугольник сопротивлений, которые наглядно иллюстрируют фазовые соотношения.