



Основы электротехники

Отчет по лабораторной работе №3

Исследование линейных двухполюсников в электрических цепях
однофазного синусоидального тока

Группа Р3332

Вариант 83

Выполнил: Чмурова Мария Владиславовна

Дата сдачи отчета: 21.10.2024

Дата защиты: 23.10.2024

Контрольный срок защиты: 23.10.2024

Количество баллов:

СПБ – 2024

Оглавление

Цель работы	2
Часть 1.....	3
Часть 1. Полученная таблица.	12
Часть 1. Вывод.....	13
Часть 2. Последовательная схема RCL	14
Часть 2. Полученная таблица для схемы №6	16
Часть 2. Графики характеристик для схемы №6	17
Часть 2. Векторная диаграмма для схемы №6	18
Часть 2. Полученная таблица для схемы №9	21
Часть 2. Графики характеристик для схемы №9	22
Часть 2. Векторная диаграмма для схемы №9	23
Вывод по части 2.....	24

Цель работы

Исследование свойств линейных цепей синусоидального тока, а также особых режимов работы, таких как резонанс напряжений и токов.

Часть 1.

Дано:

$$U = 8 \text{ [В]}; f = 63,662 \text{ [Гц]}; R_k = 15 \text{ [Ом]}; L_k = 53,556 \text{ [Гн]};$$

$$C = 33,308 \text{ [мкФ]}; \psi_u = 0^\circ; R_1 = 35 \text{ [Ом]};$$

1. Схема исследуемой цепи:

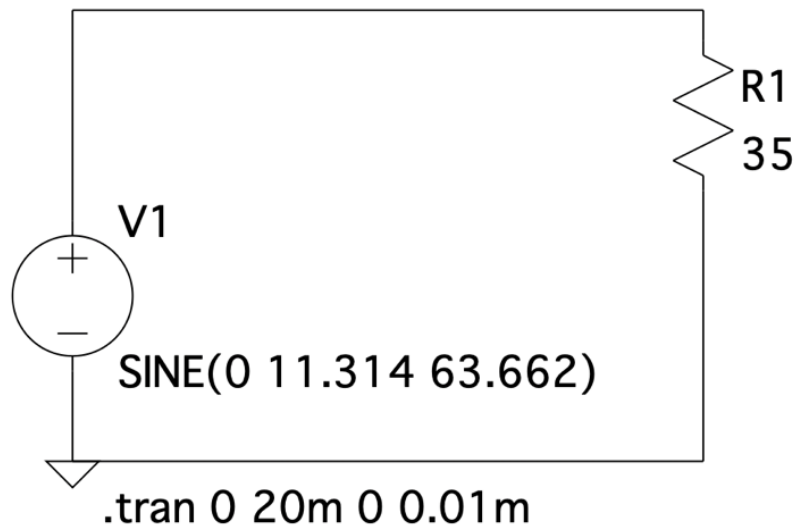


Рисунок 1. Схема исследуемой цепи 1

Расчёты:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R_1} = \frac{8}{35} = 0,229 \text{ [А]}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{0}{R_1}\right) = 0^\circ$$

Векторная диаграммы входных напряжений и токов:

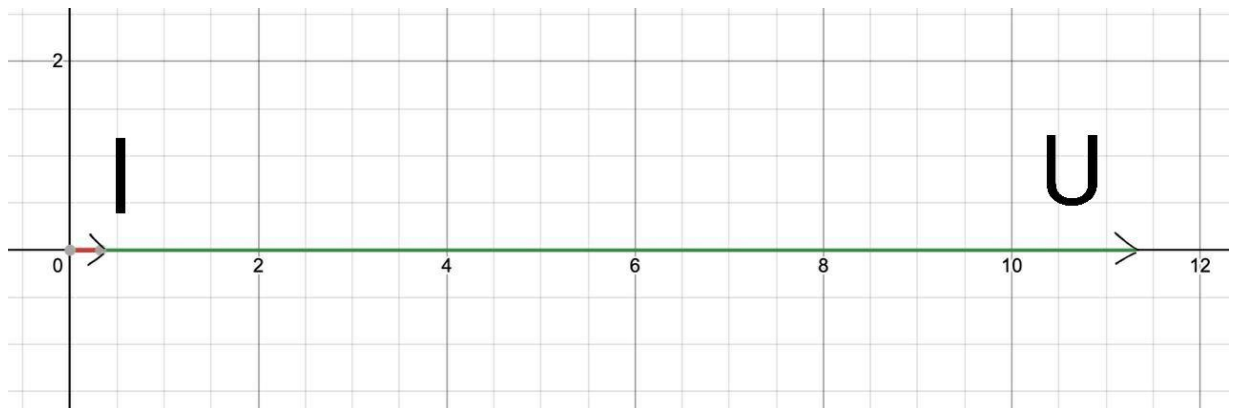


Рисунок 2. Векторная диаграмма 1

2. Схема исследуемой цепи:

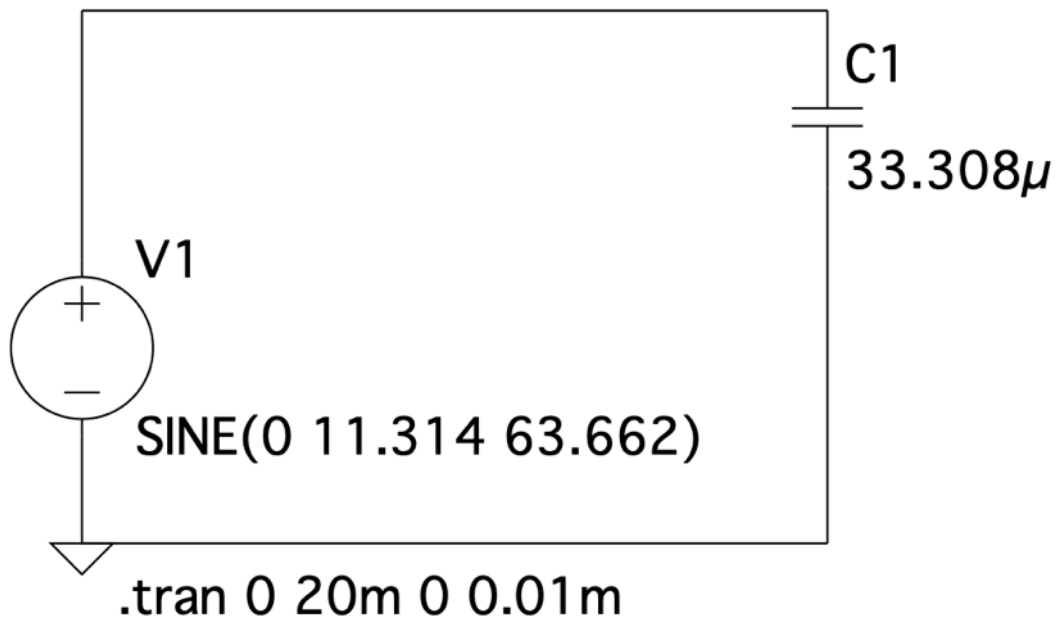


Рисунок 3. Схема исследуемой цепи 2

Расчёты:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{X_c} = U\omega C = U2\pi fC = 0,107 \text{ [A]}$$

$$\varphi = -\frac{\pi}{2} = -90^\circ$$

Векторная диаграмма входных напряжений и токов:

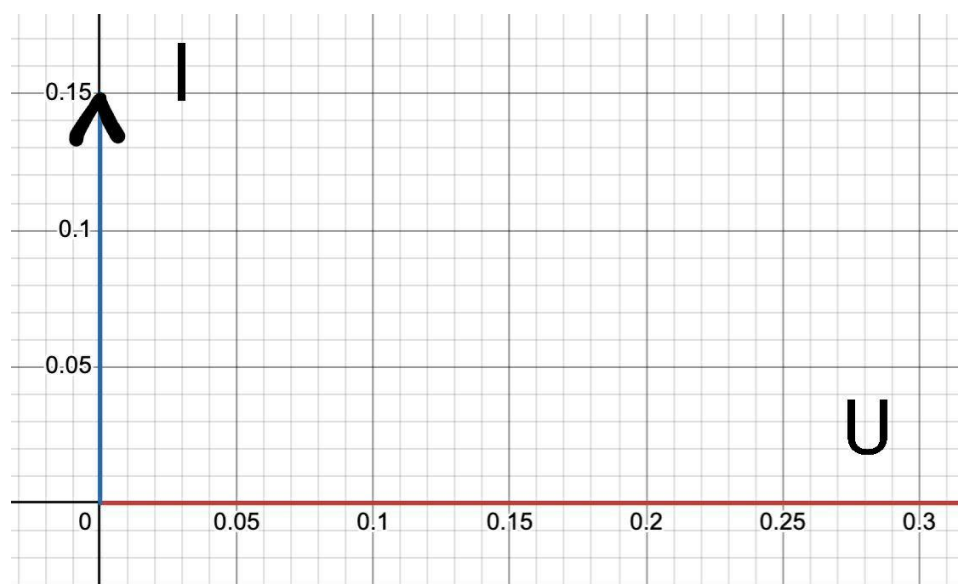


Рисунок 4. Векторная диаграмма 2

3. Схема исследуемой цепи:

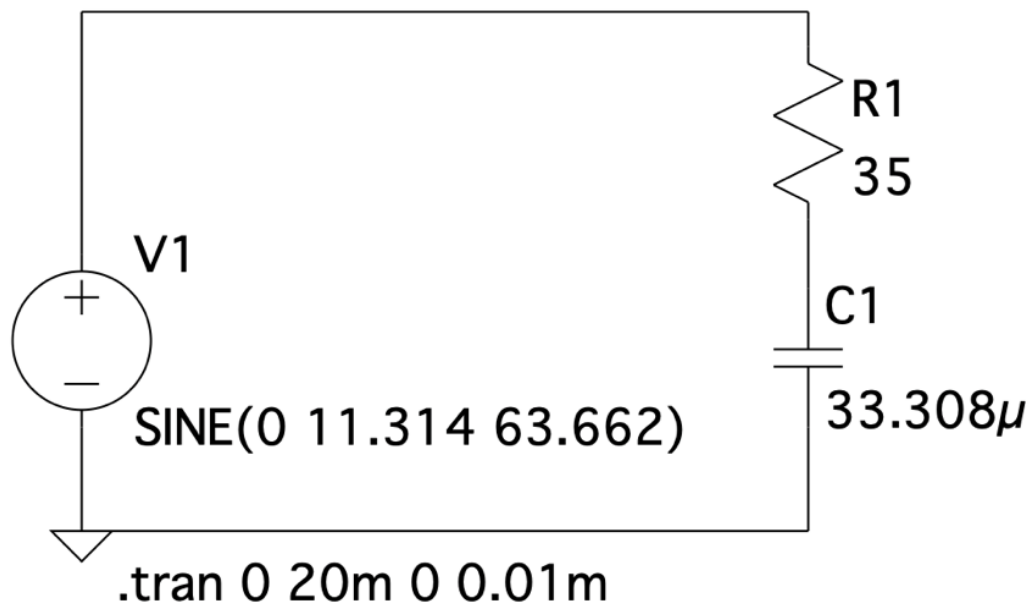


Рисунок 5. Схема исследуемой цепи 3

Расчёты:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(2\pi f C)^2}}} = 0,097 \text{ [A]}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{X}{R}\right) = \arctg\left(-\frac{1}{\omega C R}\right) = \arctg\left(-\frac{1}{2\pi f C R}\right) = -65^\circ$$

Векторная диаграмма входных напряжений и токов:

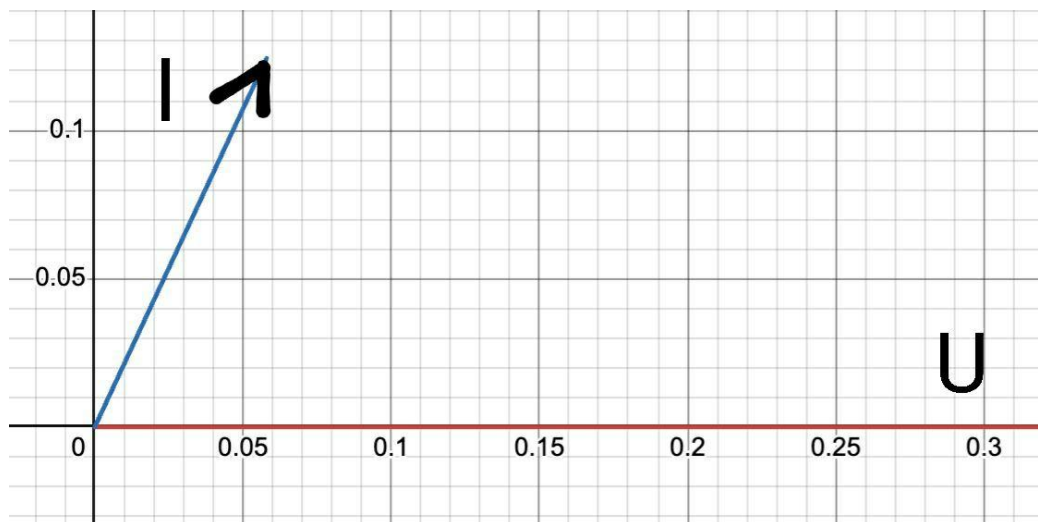


Рисунок 6. Векторная диаграмма 3

4. Схема исследуемой цепи:

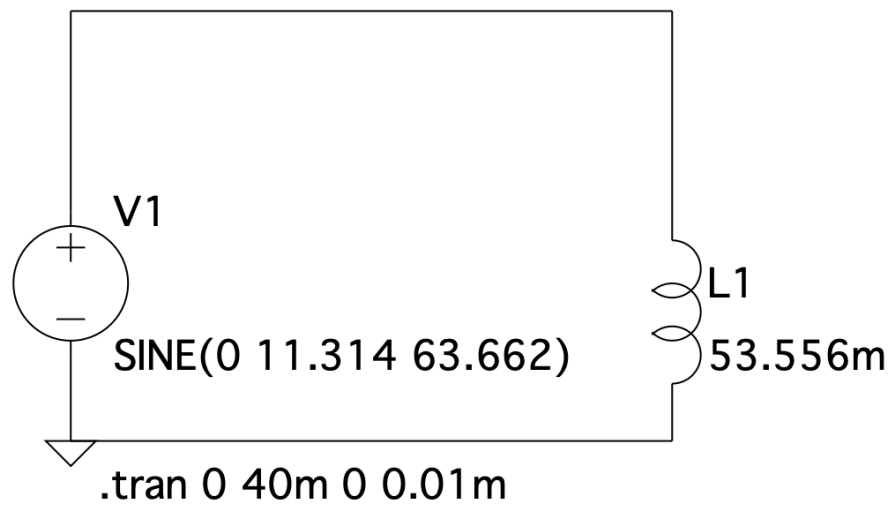


Рисунок 7. Схема исследуемой цепи 4

Расчёты:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (2\pi f L)^2}} = 0,306 \text{ [A]}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{X}{R}\right) = \arctg\left(\frac{2\pi f L}{R}\right) = 55^\circ$$

Векторная диаграмма входных напряжений и токов:

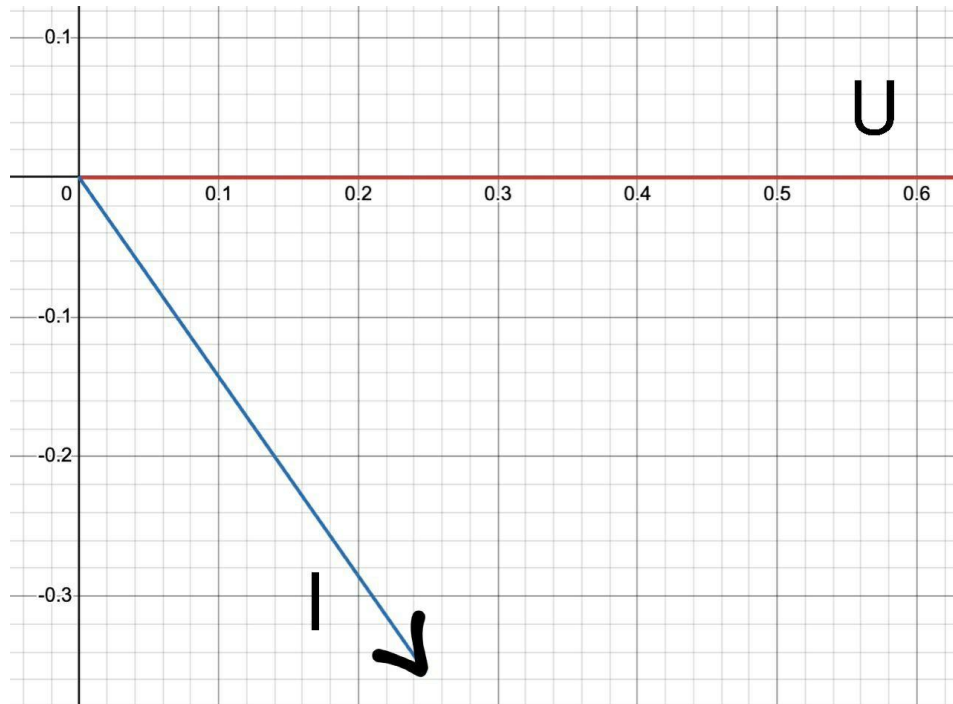


Рисунок 8. Векторная диаграмма 4

5. Схема исследуемой цепи:

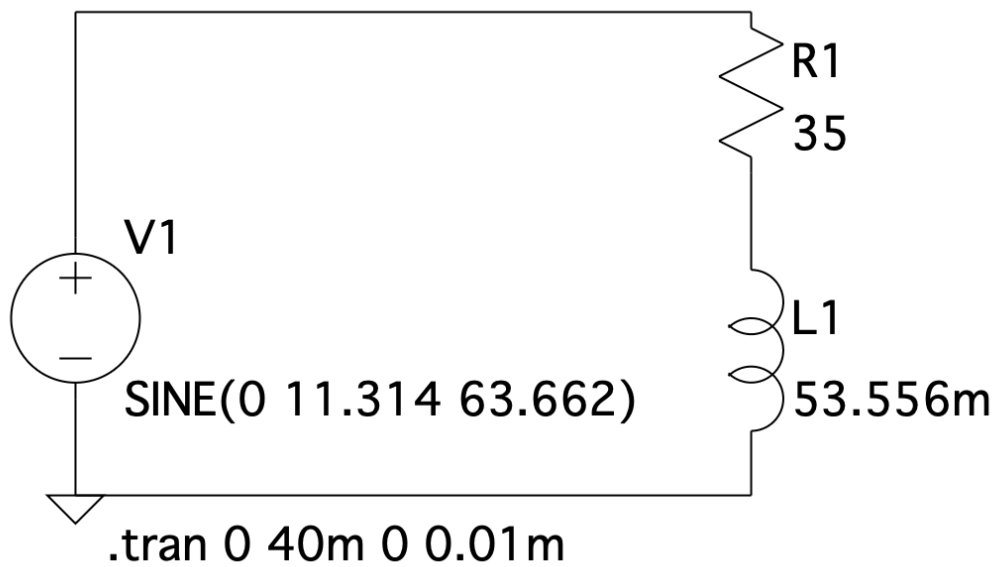


Рисунок 9. Схема исследуемой цепи 5

Расчёты:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{U}{\sqrt{(R_1 + R_k)^2 + (2\pi f L)^2}} = 0,147[\text{A}]$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{X}{R}\right) = \arctg\left(\frac{2\pi f L}{R_1 + R_k}\right) = 23^\circ$$

Векторная диаграмма входных напряжений и токов:

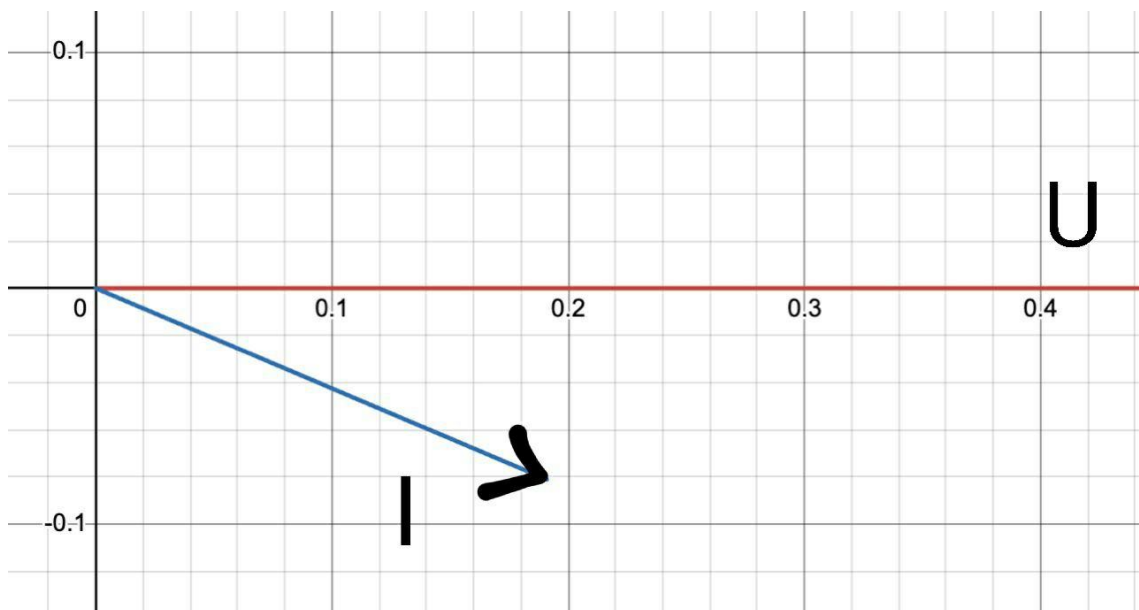


Рисунок 10. Векторная диаграмма 5

6. Схема исследуемой цепи:

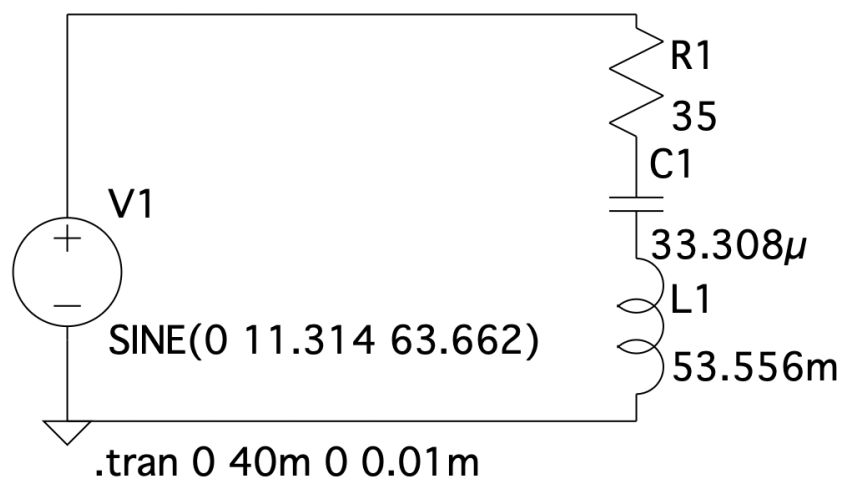


Рисунок 11. Схема исследуемой цепи 6

Расчёты:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U}{\sqrt{(R_1 + R_k)^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = 0,109 \text{ [A]}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{X}{R}\right) = \arctg\left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R_1 + R_k}\right) = -47^\circ$$

Векторная диаграмма входных напряжений и токов:

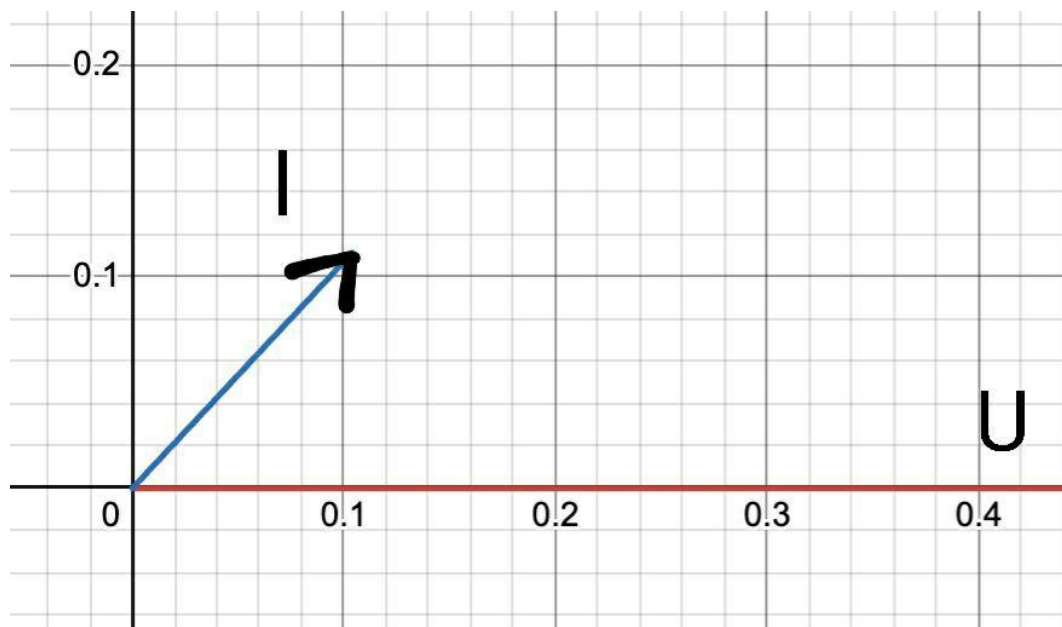


Рисунок 12. Векторная диаграмма 6

7. Схема исследуемой цепи:

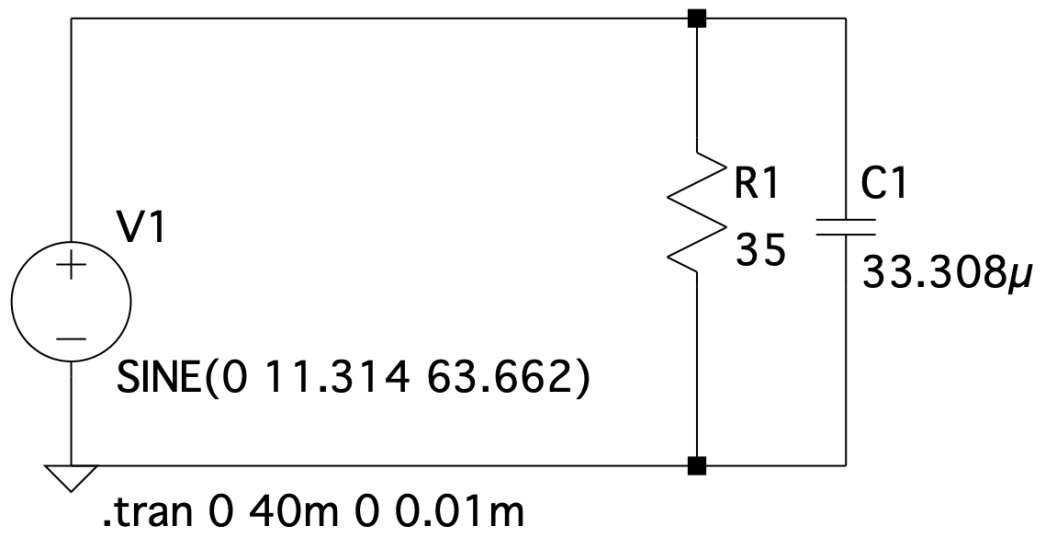


Рисунок 13. Схема исследуемой цепи 7

Расчёты:

$$I = UY = U \sqrt{\left(\frac{1}{R_1}\right)^2 + (\omega C)^2} = 0,252 \text{ [A]}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{-\omega C}{\frac{1}{R}}\right) = -25^\circ$$

Векторная диаграмма входных напряжений и токов:

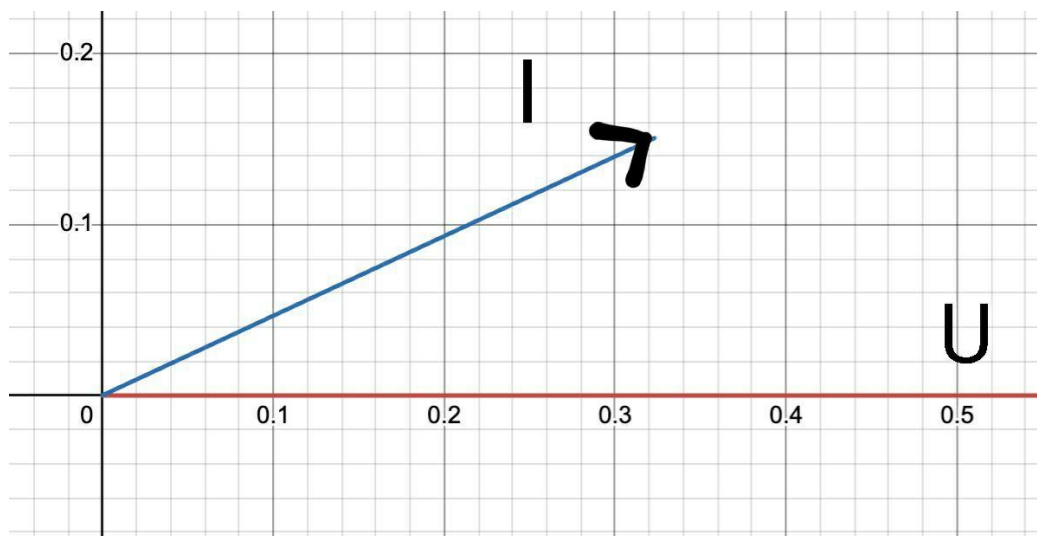


Рисунок 14. Векторная диаграмма 7

8. Схема исследуемой цепи:

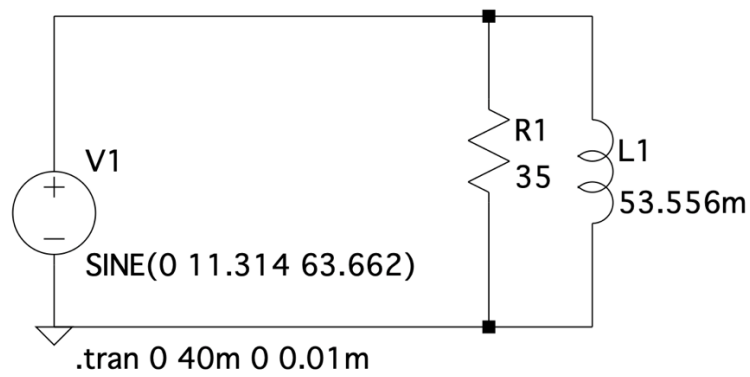


Рисунок 15. Схема исследуемой цепи 8

Расчёты:

$$X_L = \omega L = 21,422$$

$$G = G_1 + G_k = \frac{1}{R_1} + \frac{R_k}{R_k^2 + X_L^2} = 0,051$$

$$B = B_k - B_1 = \frac{X_L}{R_k^2 + X_L^2} - 0 = 0,031$$

$$I = UY = U\sqrt{G^2 + B^2} = 0,477 \text{ [A]}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{B}{G}\right) = 31^\circ$$

Векторная диаграмма входных напряжений и токов:

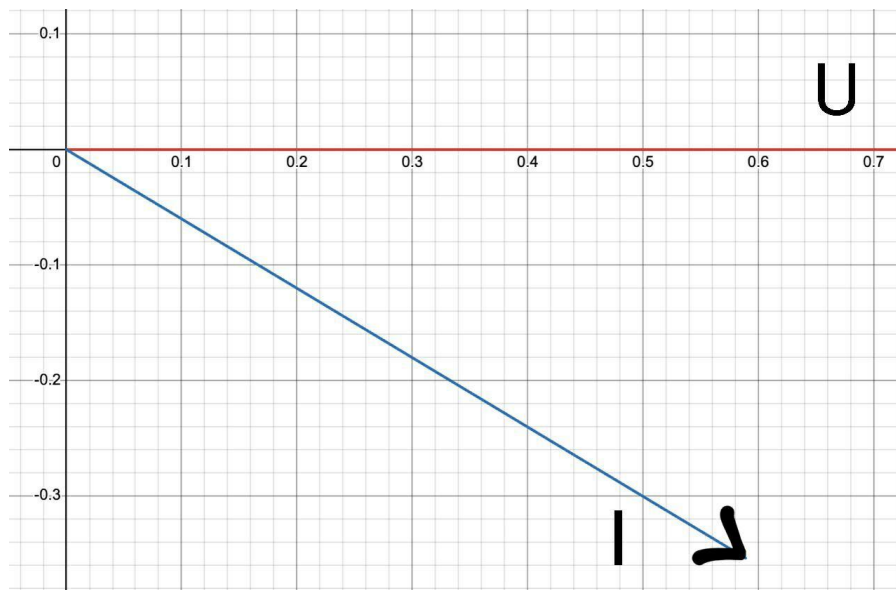


Рисунок 16. Векторная диаграмма 8

9. Схема исследуемой цепи:

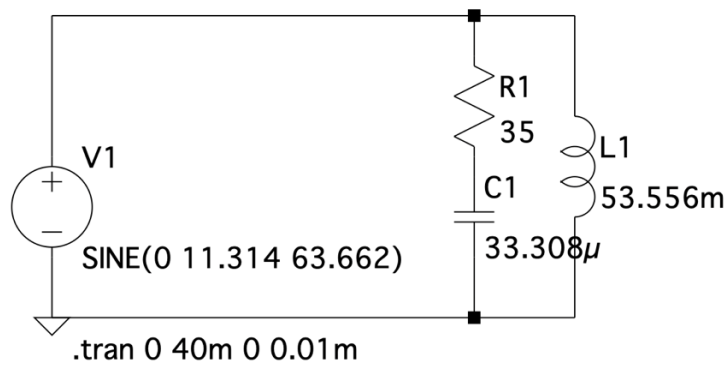


Рисунок 17. Схема исследуемой цепи 9

Расчёты:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = 75,05702$$

$$X_L = \omega L = 21,422$$

$$G = G_1 + G_k = \frac{R_1}{R_1^2 + X_C^2} + \frac{R_k}{R_k^2 + X_L^2} = 0,027$$

$$B = B_k - B_1 = \frac{X_L}{R_k^2 + X_L^2} - \frac{X_C}{R_1^2 + X_C^2} = 0,020$$

$$I = UY = U\sqrt{G^2 + B^2} = 0,269 \text{ [A]}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{B}{G}\right) = 36^\circ$$

Векторная диаграмма входных напряжений и токов:

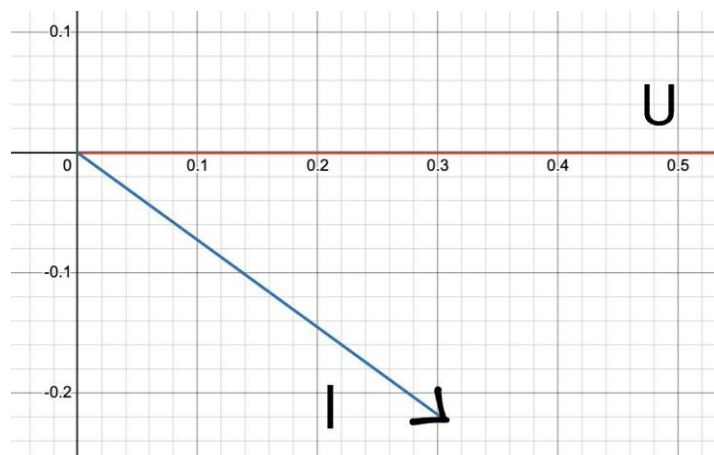


Рисунок 18. Векторная диаграмма 9

Часть 1. Полученная таблица.

Таблица 1. Результаты части 1

Номер схемы цепи	Параметры двухполюсников				Результаты измерений			Результаты вычислений	
	R1	Rk	L	C	U	I	φ	I	φ
	Ом		Гн	мкФ	В	А	°	А	°
1	35	15	0,053556	33,308	8,073	0,231	0	0,229	0
2	35	15	0,053556	33,308	8,071	0,106	-90	0,106	-90
3	35	15	0,053556	33,308	8,072	0,094	-66	0,097	-65
4	35	15	0,053556	33,308	7,931	0,315	55	0,306	55
5	35	15	0,053556	33,308	7,931	0,146	24	0,147	23
6	35	15	0,053556	33,308	7,931	0,103	-44	0,109	-47
7	35	15	0,053556	33,308	7,931	0,251	-26	0,252	-25
8	35	15	0,053556	33,308	7,931	0,488	32	0,477	31
9	35	15	0,053556	33,308	7,931	0,285	36	0,269	37

Часть 1. Вывод

В ходе 1 части было проведено исследование действующих значений входного напряжения, тока и фазового сдвига для линейных двухполюсников.

Проведенные эксперименты позволили продемонстрировать свойства различных двухполюсников при воздействии синусоидального тока.

Измерение фазовых сдвигов показало зависимость от типа элементов цепи: ёмкостных двухполюсниках сдвиги составляют $+90^\circ$, что согласуется с теоретическими данными.

Часть 2. Последовательная схема RCL

Дано:

$$U = 8 \text{ [В]}; f = 63,662 \text{ [Гц]}; R_k = 15 \text{ [Ом]}; L_k = 53,556 \text{ [Гн]};$$

$$C = 33,308 \text{ [мкФ]}; \psi_u = -60^\circ; R_1 = 40 \text{ [Ом]};$$

6. Схема исследуемой цепи:

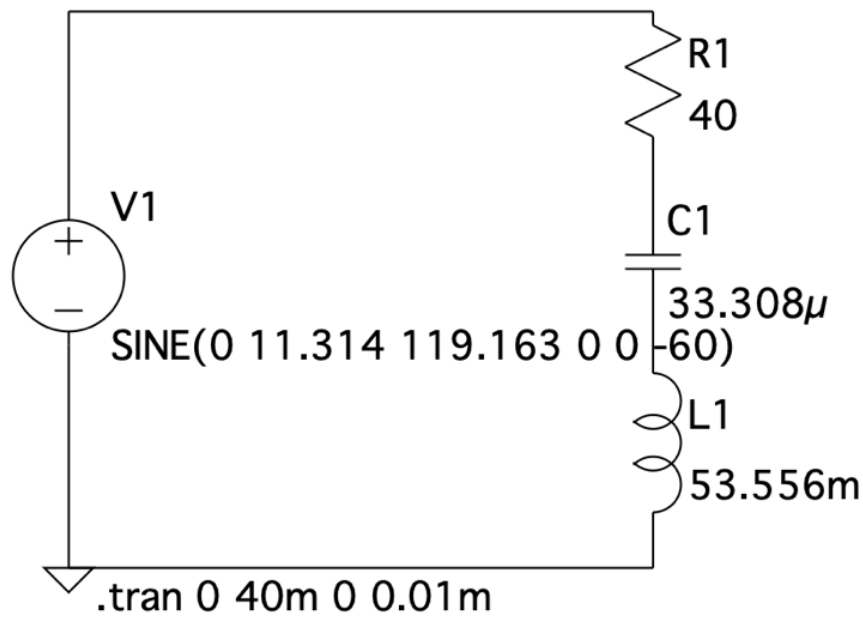


Рисунок 19. Схема исследуемой цепи - Схема 6

Графики для измерений:

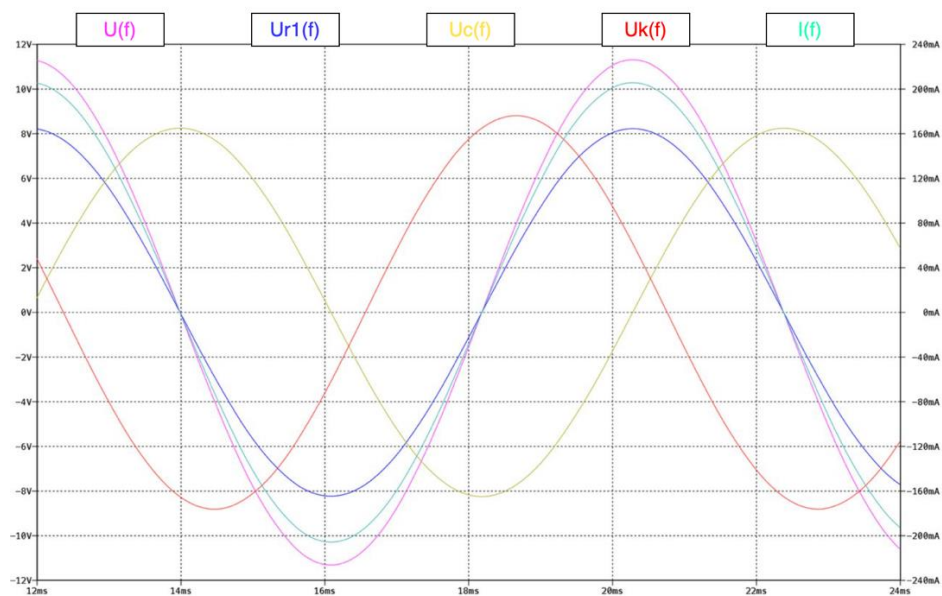


Рисунок 20. Графики - Схема 6

Расчёты:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 119,163 \text{ [Гц]}$$

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R_1^2 + R_k^2) + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = 0,145 \text{ [A]}$$

$$U_{R1} = IR_1 = 5,818 \text{ [В]}$$

$$U_k = I\sqrt{R_k^2 + (2\pi f_0 L)^2} = 6,227 \text{ [В]}$$

$$U_C = I\frac{1}{2\pi f_0 C} = 5,833 \text{ [В]}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{X_L - X_C}{R_1 + R_k}\right) = \arctg\left(\frac{2\pi f_0 L - \frac{1}{2\pi f_0 C}}{R_1 + R_k}\right) = 0^\circ$$

Используя вышеуказанные формулы с использованием программы выполняются расчёты для 20 точек со значением частоты в диапазоне от $0,1f_0$ до $2f_0$.

Пример расчёта экспериментального значения φ для первой точки: $0,1f_0$:

$$\varphi = 180^\circ \cdot \frac{\Delta h}{h} = 180^\circ \cdot \frac{0,182-0,163}{0,224-0,182} = -81^\circ \text{ (}\varphi < 0, \text{ т.к. ток опережает напряжение)}$$

Аналогичные расчёты выполняются для всех 20 частот. По итогам расчётам получается таблица.

Часть 2. Полученная таблица для схемы №6

Таблица 2. Заполненная таблица

f	U=8 [В]; R1=40 [Ом]; Rk=15 [Ом]; L=53,556 [мГн]; C=33,308 [мкФ]; f0=119,163 [Гц]									
	Расчёт					Эксперимент				
	Qp=0,729					Qe=0,779				
	φ	I	Ur1	Uk	Uc	φ	I	Ur1	Uk	Uc
Гц	°	A	B			°	A	B		
11,916	-82	0,02	0,798	0,31	8,004	-81	0,02	0,799	0,308	8,002
23,833	-74	0,04	1,599	0,68	8,013	-75	0,039	1,553	0,7	8,233
35,749	-66	0,06	2,397	1,152	8,01	-66	0,059	2,353	1,131	8,156
47,665	-57	0,08	3,182	1,747	7,974	-56	0,08	3,183	1,707	7,97
59,582	-48	0,098	3,926	2,458	7,872	-47	0,096	3,834	2,484	7,761
71,498	-38	0,115	4,593	3,255	7,674	-38	0,11	4,387	3,197	7,662
83,414	-28	0,128	5,138	4,088	7,359	-28	0,125	5,001	4,024	7,422
95,330	-18	0,138	5,528	4,894	6,927	-20	0,134	5,389	4,838	7,027
107,247	-9	0,144	5,75	5,618	6,405	-5	0,141	5,654	5,551	6,519
119,163	0	0,145	5,818	6,227	5,833	0	0,142	5,702	6,309	5,964
131,079	8	0,144	5,763	6,712	5,252	11	0,141	5,701	6,586	5,533
142,996	15	0,141	5,621	7,083	4,696	14	0,141	5,65	6,903	5,045
154,912	21	0,136	5,426	7,358	4,184	20	0,137	5,479	7,231	4,553
166,828	27	0,13	5,204	7,56	3,726	27	0,132	5,298	7,448	4,141
178,745	31	0,124	4,972	7,706	3,323	32	0,127	5,096	7,617	3,786
190,661	35	0,119	4,742	7,811	2,971	36	0,123	4,952	7,766	2,967
202,577	39	0,113	4,52	7,887	2,665	40	0,12	4,849	7,904	2,69
214,493	42	0,108	4,309	7,941	2,4	43	0,1	4,488	7,918	2,309
226,410	45	0,103	4,111	7,98	2,169	45	0,101	4,387	7,98	2,156
238,326	48	0,098	3,926	8,008	1,968	48	0,107	3,944	7,989	1,911

Часть 2. Графики характеристик для схемы №6

График характеристик $\varphi(f)$ и $I(f)$:

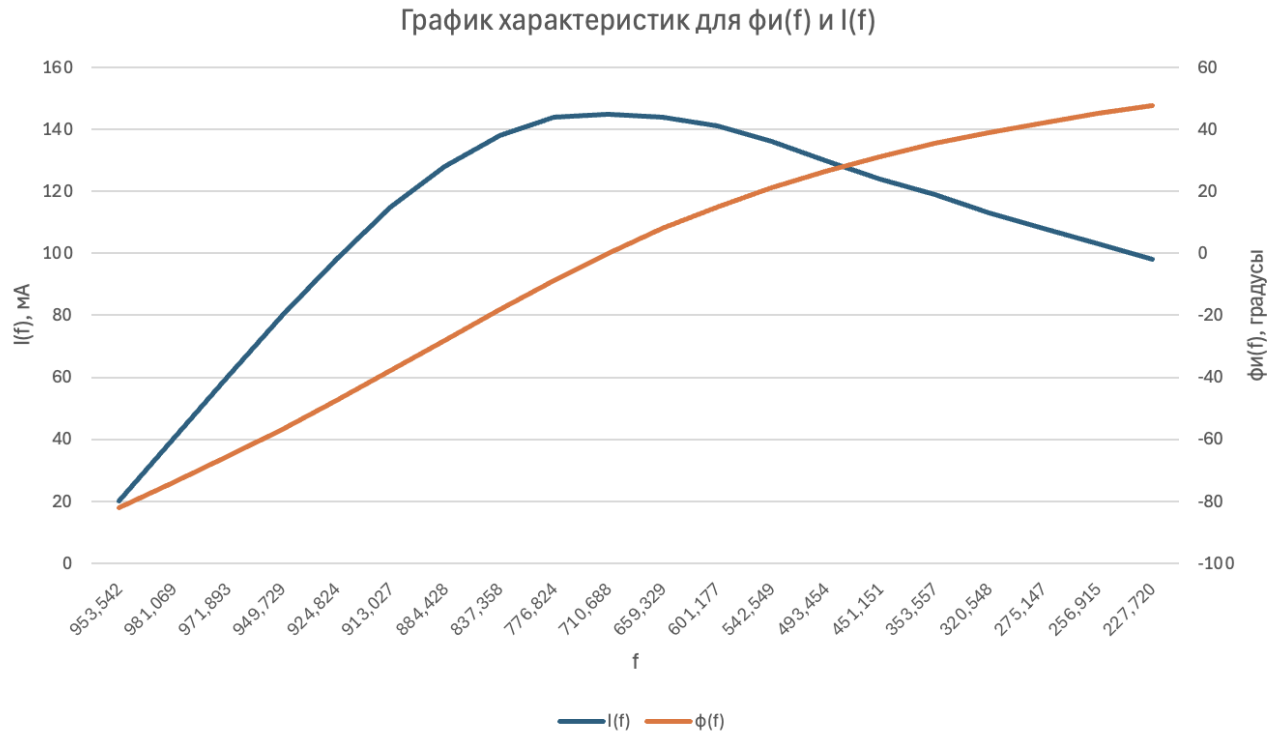


Рисунок 21. График характеристик - Схема 6

График характеристик U_{R1} , U_k и U_C :

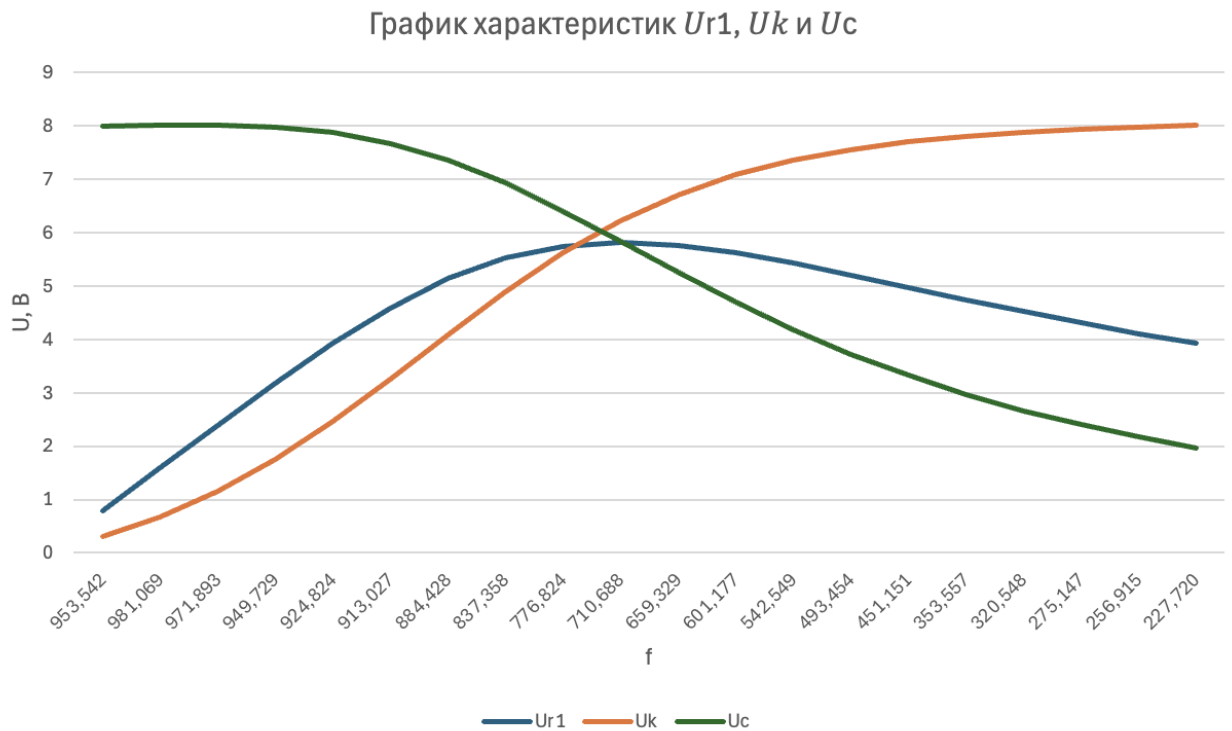


Рисунок 22. График характеристик - Схема 6

Часть 2. Векторная диаграмма для схемы №6

Векторная диаграмма напряжений:

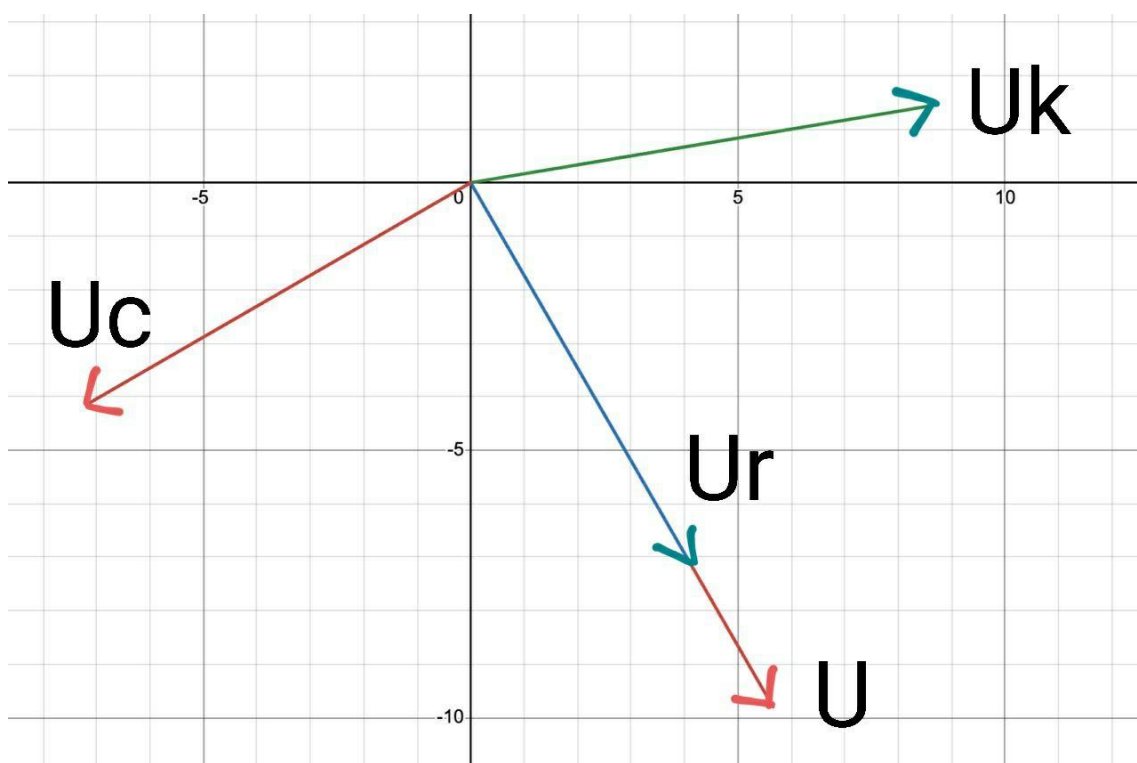


Рисунок 23. Векторная диаграмма - Схема 6

Демонстрация выполнения правила Кирхгофа для векторной диаграммы:

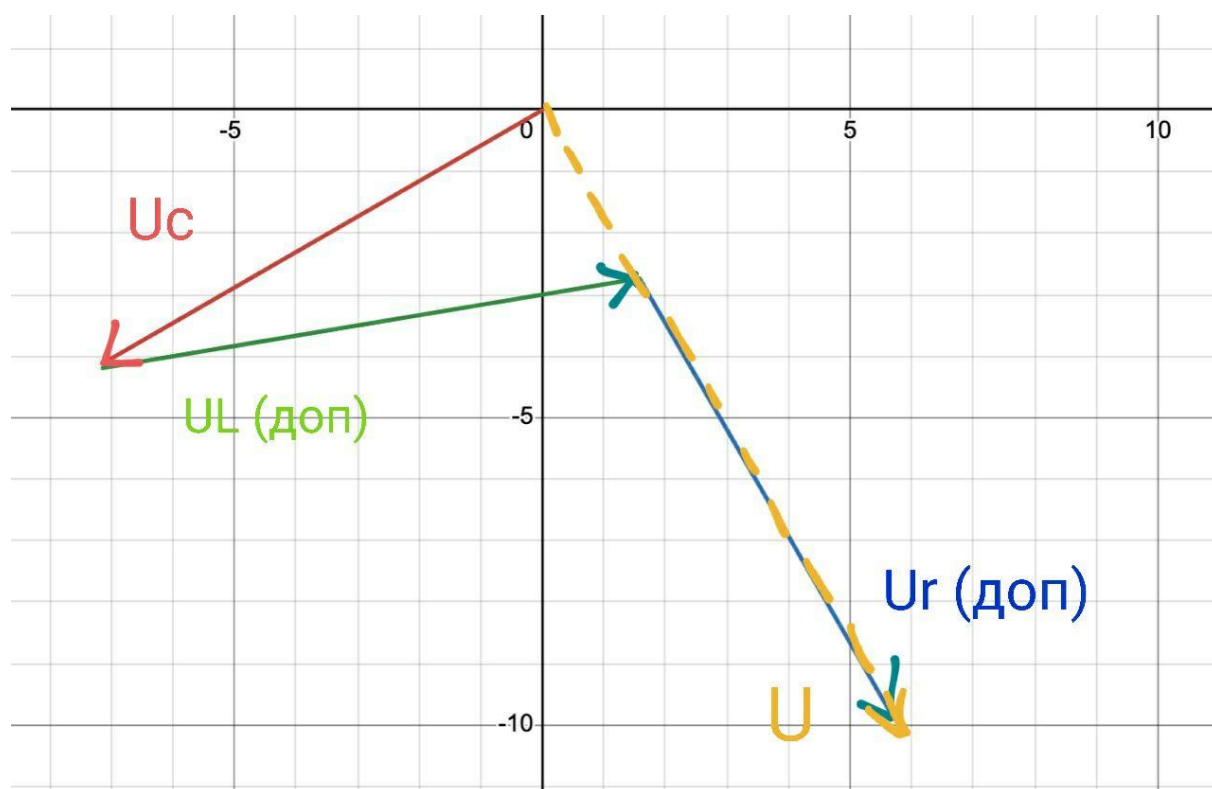


Рисунок 24. Правило Кирхгофа - Схема 6

9. Схема исследуемой цепи:

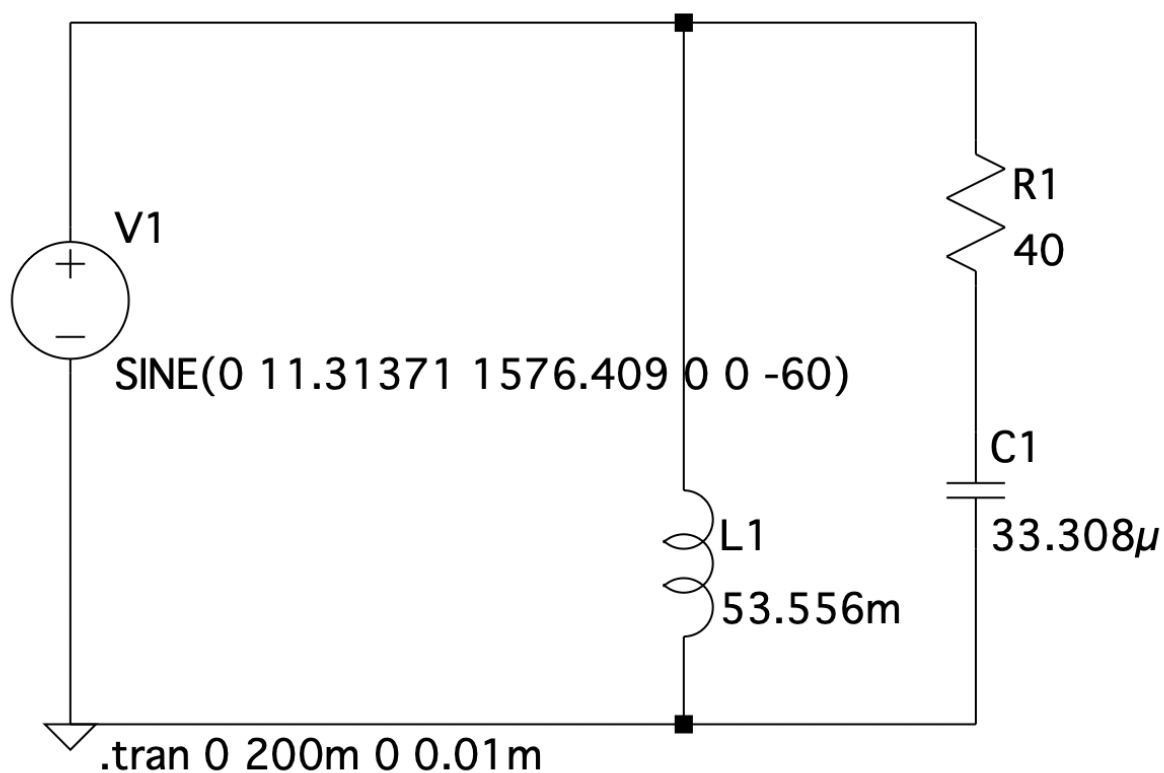


Рисунок 25. Схема 9 исследуемой цепи

Графики для измерений:

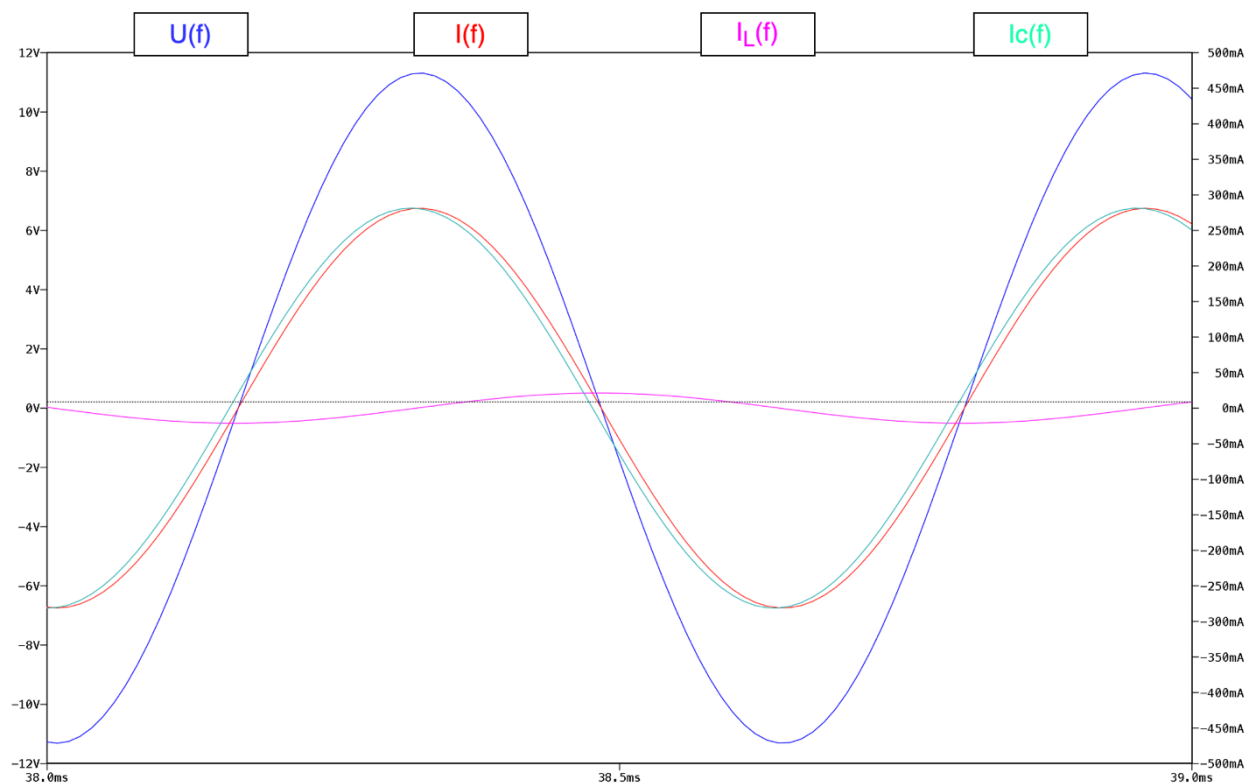


Рисунок 26. Графики для измерений

Расчёты:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \cdot \sqrt{\frac{\rho^2 - R_k^2}{\rho^2 - R_1^2}} = 1576,409 \text{ [Гц]}$$

$$G = G_1 + G_k = \frac{R_1}{R_1^2 + X_C^2} + \frac{R_k}{R_k^2 + X_L^2}$$

$$B = B_k - B_1 = \frac{X_L}{R_k^2 + X_L^2} - \frac{X_C}{R_1^2 + X_C^2}$$

$$I = U\sqrt{G^2 + B^2} = 0,199 \text{ [A]}$$

$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{R_k^2 + X_L^2}} = 0,015 \text{ [A]}$$

$$I_2 = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + X_C^2}} = 0,199 \text{ [A]}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{B}{G}\right) = 0^\circ$$

Используя вышеуказанные формулы с использованием программы выполняются расчёты для 20 точек со значением частоты в диапазоне от $0,1f_0$ до $2f_0$.

Получается таблица:

Часть 2. Полученная таблица для схемы №9

f	U=8 [В]; R1=40 [Ом]; Rk=15 [Ом]; L=53,556 [мГн]; C=33,308 [мкФ]; f0`=1576,409 [Гц]							
	Расчёт				Эксперимент			
	φ	I	I1	I2	φ	I	I1	I2
Гц	°	A			°	A		
157,641	14,598	0,172	0,145	0,159	14	0,172	0,146	0,159
315,282	2,367	0,186	0,075	0,187	2	0,185	0,074	0,187
472,923	0,695	0,193	0,050	0,194	0,6	0,191	0,049	0,194
630,564	0,275	0,196	0,038	0,197	0,3	0,195	0,039	0,197
788,205	0,127	0,197	0,030	0,198	0,1	0,197	0,3	0,198
945,845	0,063	0,198	0,025	0,198	0,06	0,198	0,025	0,198
1103,49	0,032	0,199	0,022	0,199	0,028	0,199	0,022	0,199
1261,13	0,015	0,199	0,019	0,199	0,02	0,199	0,019	0,199
1418,77	0,006	0,199	0,017	0,199	0,005	0,201	0,016	0,2
1576,41	0,000	0,199	0,015	0,199	0	0,203	0,015	0,203
1734,05	-0,003	0,199	0,014	0,200	-0,003	0,2	0,014	0,201
1891,69	-0,005	0,200	0,013	0,200	-0,004	0,2	0,013	0,2
2049,33	-0,007	0,200	0,012	0,200	-0,006	0,2	0,012	0,199
2206,97	-0,007	0,200	0,011	0,200	-0,007	0,2	0,012	0,2
2364,61	-0,008	0,200	0,010	0,200	-0,008	0,2	0,01	0,198
2522,25	-0,008	0,200	0,009	0,200	-0,008	0,2	0,009	0,2
2679,9	-0,008	0,200	0,009	0,200	-0,008	0,2	0,009	0,199
2837,54	-0,008	0,200	0,008	0,200	-0,008	0,2	0,008	0,2
2995,18	-0,008	0,200	0,008	0,200	-0,008	0,2	0,008	0,2
3152,82	-0,008	0,200	0,008	0,200	-0,008	0,2	0,008	0,2

Часть 2. Графики характеристик для схемы №9

График характеристик $I(f)$, $I_1(f)$, $I_2(f)$ и $\varphi(f)$:

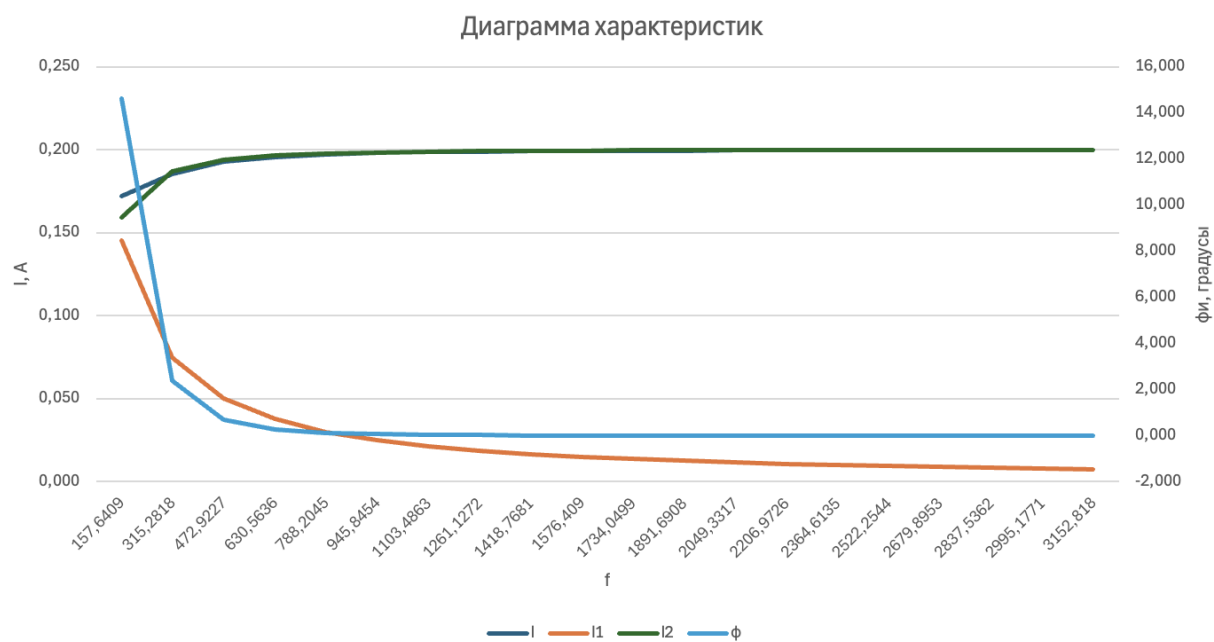


Рисунок 27. Диаграмма характеристик

Часть 2. Векторная диаграмма для схемы №9

Векторная диаграмма для токов:

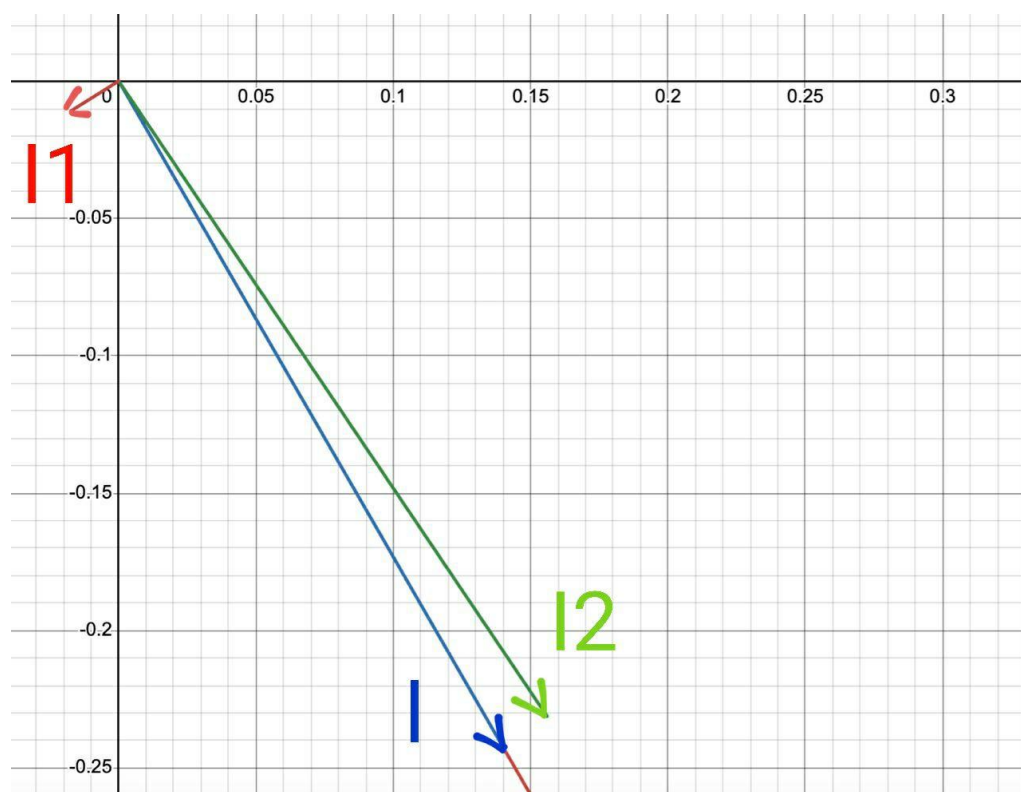


Рисунок 28. Векторная диаграмма

Демонстрация работы закона Кирхгоффа:

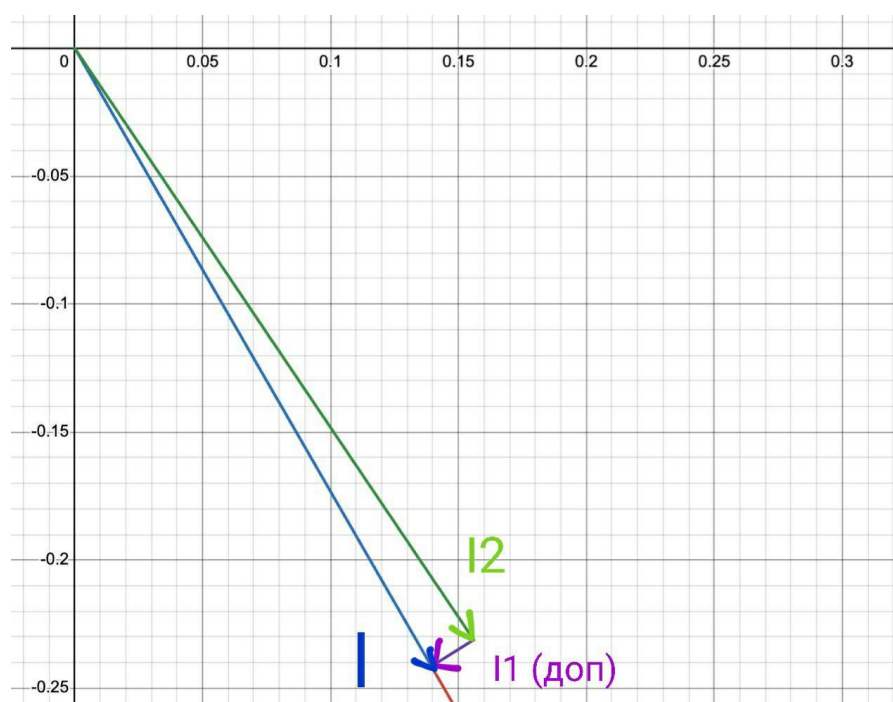


Рисунок 29. Законы Кирхгоффа - Схема 9

Вывод по части 2.

В ходе лабораторной работы были исследованы цепи с параллельным и последовательным соединением индуктивных и ёмкостных элементов.

Для последовательного соединения на резонансной частоте напряжения на индуктивности и ёмкости компенсируют друг друга, что приводит к максимальному току в цепи. Угол сдвига фаз также стремится к нулю, и напряжение в резонансном режиме максимально. Для параллельного соединения на резонансной частоте полный ток в цепи минимален, а угол сдвига фаз между током и напряжением равен нулю.

Построенные векторные диаграммы как для последовательного, так и для параллельного соединений подтвердили теоретические предположения относительно фазовых соотношений между током и напряжениями на различных элементах цепи.

Таким образом, эксперимент подтвердил основные теоретические положения о работе цепей в режиме резонанса.