

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.

Задание 1. По параметрам из таблицы 1 рассчитать и записать аналитическое выражение (мгновенное значение) напряжения синусоидального сигнала (амплитуду, угловую частоту, период). Собрать схему эксперимента в Multisim, зафиксировать показания вольтметра, осциллографа, частотомера (V_{RMS} , V_{peak} , T , (мс), f (Гц), Ψ_e (°)).

№	E_m , В			Частота f , Гц $f=1/T$	Период T , мс $T=1/f$	Угловая частота ω , рад/с $\omega=2\pi f$	Начальная фаза Ψ_e , ° $\pm\Psi_e = \frac{2\pi\Delta t}{T}$	Мгновенное, комплексное значения напряжения, временная и векторная диаграмма, графическое изображение элемента.
	Действующие значения (RMS - root-mean-square) $V_{RMS} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}}$	Амплитудные значения, $V_{peak} = \sqrt{2}V_{RMS}$	Двойные амплитудные значения, размах (peak to peak) V_{p-p} , В $V_{p-p}=2V_p$					
1	1			50			45°	
2	1,41			60			60°	
3	28,2			400			30°	
4	14,1			1000			90°	
5	42,3			100			120°	
6	2,82			150			150°	
7	14,1			300			180°	
8	2,82			120			210°	
9	4,23			180			240°	
10	4,23			360			270°	
11	1,41			800			300°	
12	42,3			2400			330°	
13	14,1			1200			360°	
14	1,41			2000			225°	
15	42,3			50			-45°	
16	14,1			60			-60°	
17	28,2			400			-30°	
18	14,1			1000			-90°	
19	42,3			100			-120°	
20	28,2			150			-150°	
21	42,3			300			-180°	
22	28,2			120			-210°	
23	1,41			180			-240°	
24	28,2			360			-270°	
25	42,3			800			-300°	

Пример решения 1 задания

Амплитудные значения $V_{peak} = \sqrt{2} V_{RMS} = U_m = 1,41 * 1 = 1,41 \text{ В}$

Двойные амплитудные значения $V_{p-p} = 2 * V_p = 2 * 1,41 = 2,82 \text{ В}$

Период $T = 1/f = 1/50 = 0,02 \text{ с}$

Угловая частота $\omega = 2\pi f = 6,28 * 50 = 314 \text{ рад /с}$

Мгновенное напряжение $u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_e)$; $U(t) = 1,41 \sin(314t + 45)$;

Комплексное действующее значение напряжения

$U(t) = 1,41 \sin(314t + 45) \Rightarrow U = (1,41 / \sqrt{2}) * e^{j45}$

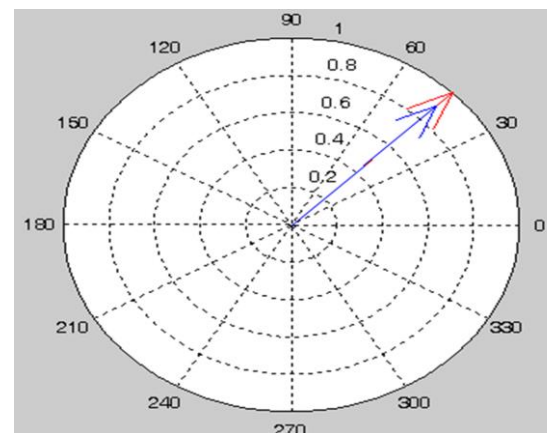


Рисунок 1: Векторная диаграмма

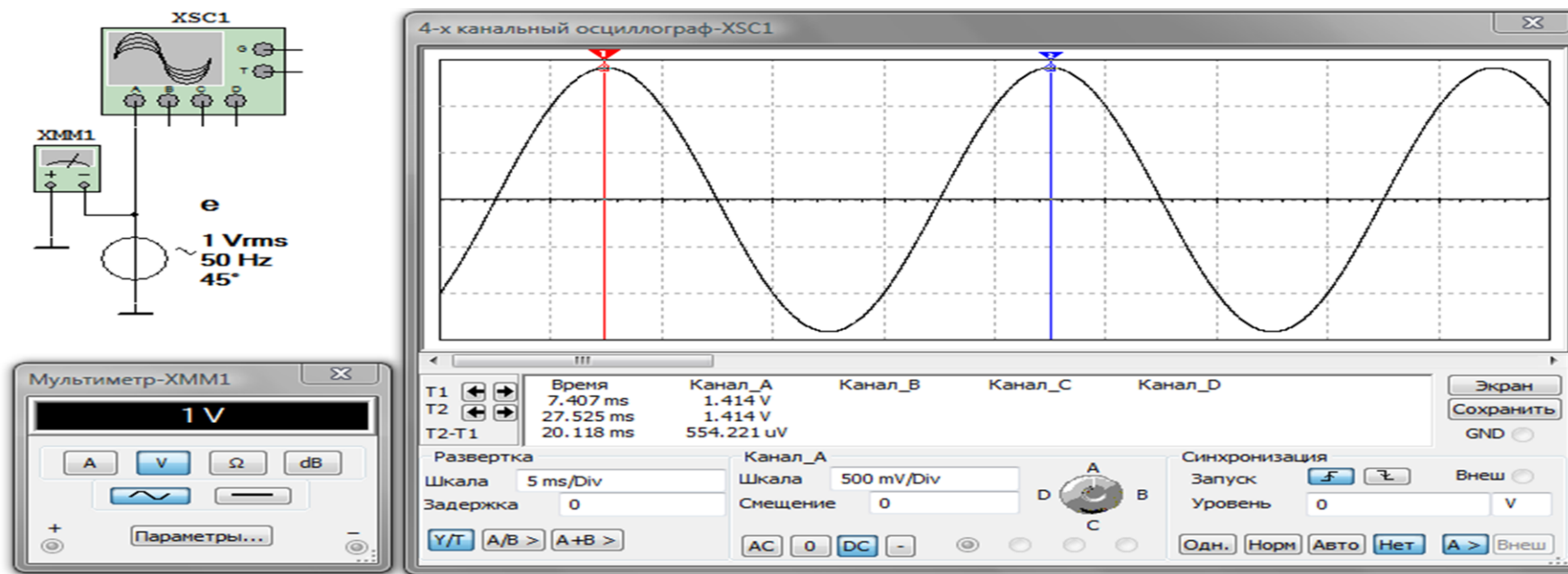


Рисунок 2: Временная диаграмма

Задание 2. По аналитическому выражению (мгновенное значение) напряжения синусоидального сигнала в таблице 2 рассчитать и записать действующее значение, амплитудное значение, полный размах напряжения, частоту, период, начальную фазу. Собрать схему эксперимента в Multisim, снять показания вольтметра, осциллографа и частотомера (V_{RMS} , V_{peak} , T , (мс), f (Гц), Ψ_e (°)). Изобразить мгновенное ($i(t)$), комплексное (\dot{J}) значения напряжения на временной и векторной диаграммах.

№	Мгновенное значение напряжения синусоидального сигнала, В	E_m , В			Частота f , Гц $f = \omega / 2\pi$	Период T , мс $T = 1/f$	Начальная фаза Ψ_e , ° $\pm \Psi_e = \frac{2\pi \Delta t}{T}$	Графическое изображение (схема), мгновенное, комплексное значения напряжения, временная и векторная диаграмма, показания осциллографа.
		Действующие значения (RMS - root-mean-square) $V_{RMS} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}}$	Амплитудные значения, $V_{peak} = \sqrt{2} V_{RMS}$	Двойные амплитудные значения, размах (peak to peak) V_{p-p} , В, $V_{p-p} = 2V_p$				
1	1.41sin (3140t + 30°)							
2	2.82 sin (3140t - 30°)							
3	141sin (314t + 60°)							
4	282 sin (314t - 60°)							
5	310 sin (314t - 120°)							
6	310 sin (314t - 240°)							
7	310 sin (314t)							
8	14.1sin (3140t + 45°)							
9	141sin (3140t - 45°)							
10	28.2 sin (3140t - 135°)							
11	282 sin (6280t - 135°)							
12	282 sin (6280t + 135°)							
13	310 sin (2512t + 120°)							
14	310 sin (2512t + 240°)							
15	310 sin (2512t + 360°)							
16	1.41sin (3140t + 90°)							
17	2.82 sin (3140t - 180°)							
18	220 sin (314t - 120°)							
19	220 sin (314t - 240°)							
20	220 sin (314t)							
21	1.41sin (3140t - 90°)							
22	141sin (314t + 60°)							
23	282 sin (314t - 60°)							
24	28.2 sin (3140t - 135°)							
25	282 sin (6280t + 135°)							

Пример решения 2 задания

Мгновенное значение напряжения синусоидального сигнала $U(t)=1.41\sin(3140t + 30^\circ)$

Действующие значения $V_{RMS} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}} = 1.41/\sqrt{2} = 1 \text{ В}$

Амплитудные значения $V_{peak} = \sqrt{2}V_{RMS} = 1.41*1 = 1.41 \text{ В}$

Двойные амплитудные значения $V_{p-p} = 2V_p = 1.41*2 = 2.82 \text{ В}$

Частота $f = \omega / 2\pi = 3140/6.28 = 500 \text{ Гц}$

Период $T = 1/f = 1/500 = 0.002 \text{ с}$

Начальная фаза $\Psi_e = 30^\circ$

Мгновенные значения напряжения вычисляются по формуле $U(t)=1.41\sin(3140t + 30^\circ)$

Комплексное значение напряжения $U = 1e^{(30j)}$

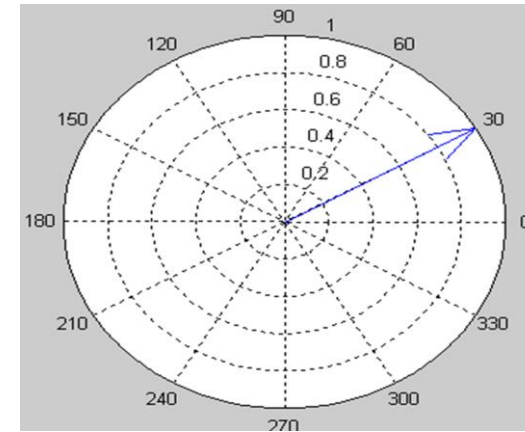


Рисунок 3: Векторная диаграмма

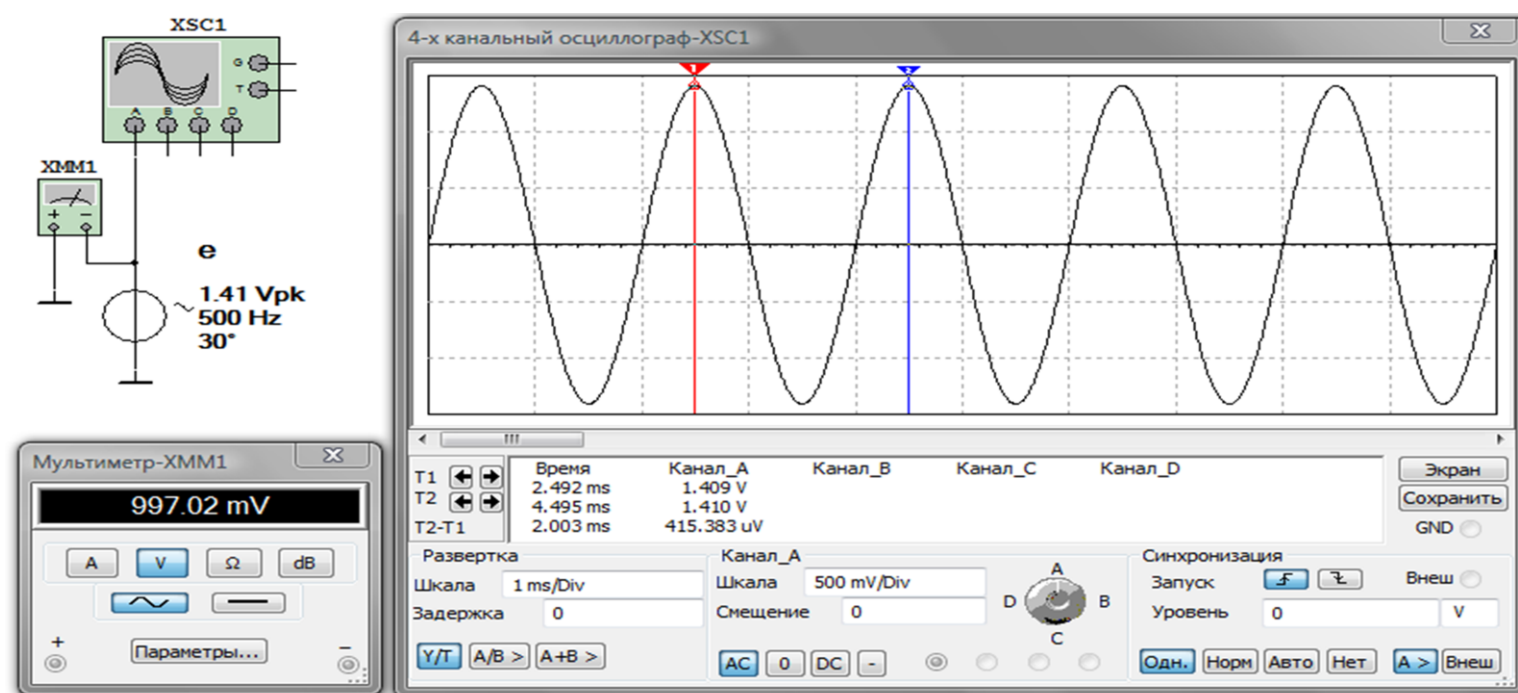


Рисунок 4: Временная диаграмма

Задание 3. R элемент в линейной электрической цепи синусоидального тока. Используя аналитическое выражение источника ЭДС (данные из таблицы 2) собрать принципиальную электрическую схему с R элементом. Рассчитать мгновенное значение тока, напряжения, мощности, действующие комплексные значения тока, напряжения, мощности. Собрать схему эксперимента в Multisim, снять показания осциллографа (V_{RMS} , V_{peak} , T , (мс), f (Гц), Ψ_e (°), $i(t)$, $u(t)$, $p(t)$).

Схема состоит из двух последовательно соединенных резисторов и представляет собой делитель напряжения.

Мультиметр

Моделирование->Приборы->Мультиметр

Осциллограф

Моделирование->Приборы->4-х канал. Осц

Резистор

Вставить->Компонент->Basic->Resistor

Мультиплеер

Вставить->Компонент->Source->Control_Function_Blocks->Multiplier

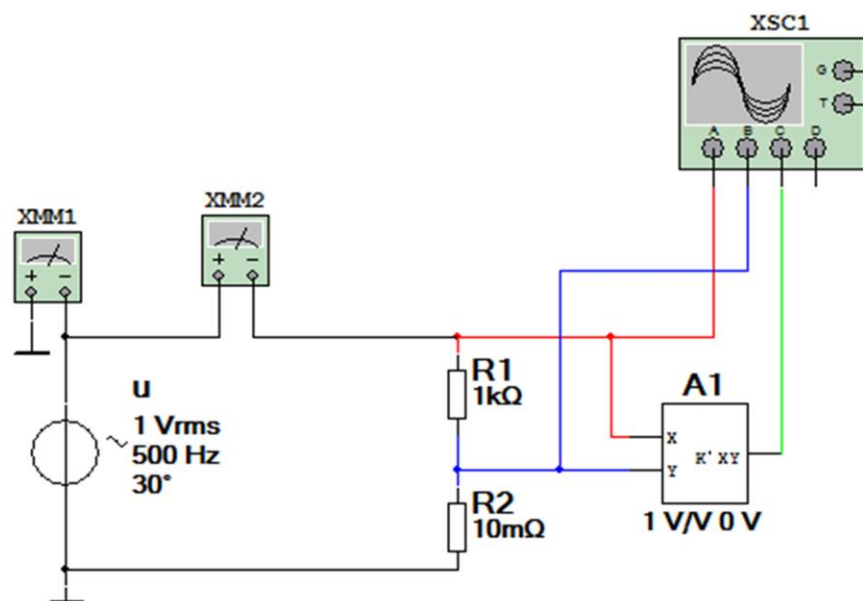


Рисунок 5: Принципиальная электрическая схема для 3 задания

Пример решения 3 задания

Входное напряжение $U(t) = 1.41 \sin(3140t + 30^\circ)$;

Общее сопротивление $R_{\text{общ}} \sim 1 \text{ k}\Omega$

Внутреннее сопротивление $R_{\text{вн}} = 0.01 \Omega$

Действующее значение напряжения $U_{\text{в}} = U_{\text{м}} / \sqrt{2} = 1 \text{ В}$

Максимальное значение напряжения $U_{\text{м}} = 1.41 \text{ В}$

Частота $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{3140}{2\pi} \approx 500 \text{ Гц}$

Период $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{500} = 0.002 \text{ с}$. Начальная фаза $\psi = 30^\circ$

Мгновенное значение тока

$$i(t) = \frac{U(t)}{R_{\text{общ}}} = \frac{1.41 \sin(3140t + 30^\circ)}{1000} = 0.00141 \sin(3140t + 30^\circ) \text{ А}$$

Для резистивного сопротивления $\psi_i = \psi_u = 30^\circ$

Зависимость мощности от времени на резистивном сопротивлении

$$P(t) = U(t) \cdot i(t) = 1.41 \sin(3140t + 30^\circ) \cdot 0.00141 \sin(3140t + 30^\circ) = 0.00198 \sin^2(3140t + 30^\circ) \text{ Вт}$$

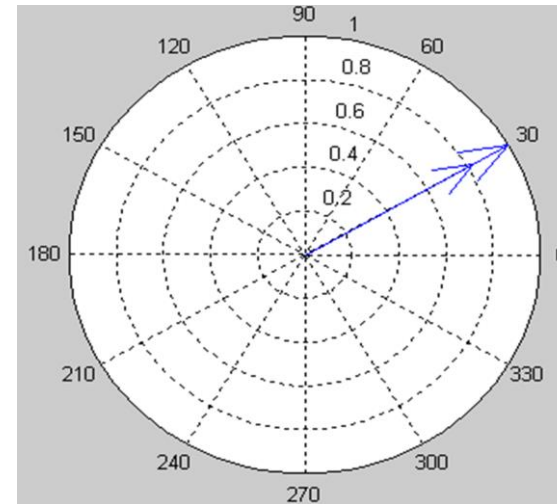


Рисунок 6: Векторная диаграмма

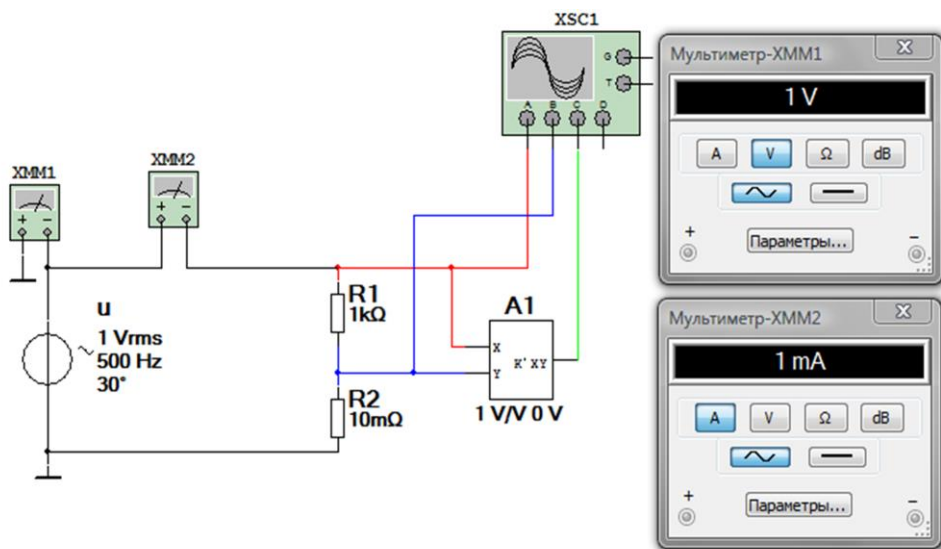


Рисунок 7: Моделирование в Multisim 3 задания

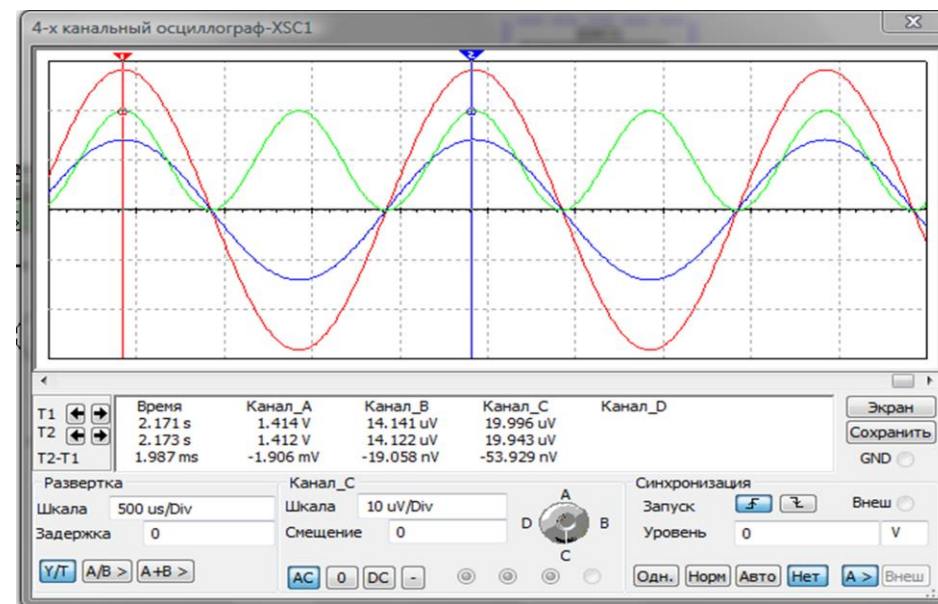


Рисунок 8: Осциллограмма напряжения, тока и мощности на резисторе

Задание 4. L элемент в линейной электрической цепи синусоидального тока. Используя аналитическое выражение источника ЭДС (данные из таблицы 2) собрать принципиальную электрическую схему с L элементом. Рассчитать мгновенное значение тока, напряжения, мощности, действующие комплексные значения тока, напряжения, мощности. Собрать схему эксперимента в Multisim, снять показания осциллографа (V_{RMS} , V_{peak} , T , (мс), f (Гц), Ψ_e (°), $i(t)$, $u(t)$, $p(t)$).

Мультиметр

Моделирование->Приборы->Мультиметр

Осциллограф

Моделирование->Приборы->4-х канал. Осц

Резистор

Вставить->Компонент->Basic->Resistor

Катушка индуктивности

Вставить->Компонент->Basic->Inductor

Мультиплеер

Вставить->Компонент->Source->Control_Function_Blocks->Multiplier

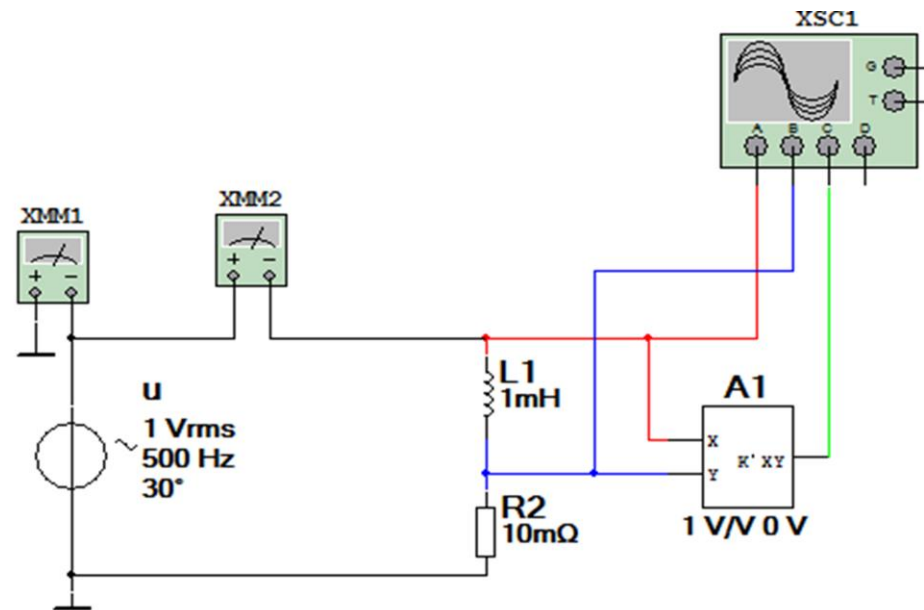


Рисунок 9: Принципиальная электрическая схема для 4 задания

$$V_{RMS} = 1 \text{ В } f = 500 \text{ Гц},$$

$$V_{peak} = 1,44 \text{ В } \Psi_e = 30^\circ$$

$$T, (\text{мс}) = 0,02 \text{ с}$$

По закону Ома находим ток протекающий через катушку индуктивности $u_L = L \frac{di_L}{dt}$

Сопротивление катушки индуктивности

$$\text{Ток протекающий через катушку индуктивности } I_L = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{1}{\sqrt{10^2 + 12,56^2}} = 0,008 \text{ А}$$

Соотношение фазы напряжения и тока на индуктивности $\varphi_u - \varphi_i = \frac{\pi}{2}$

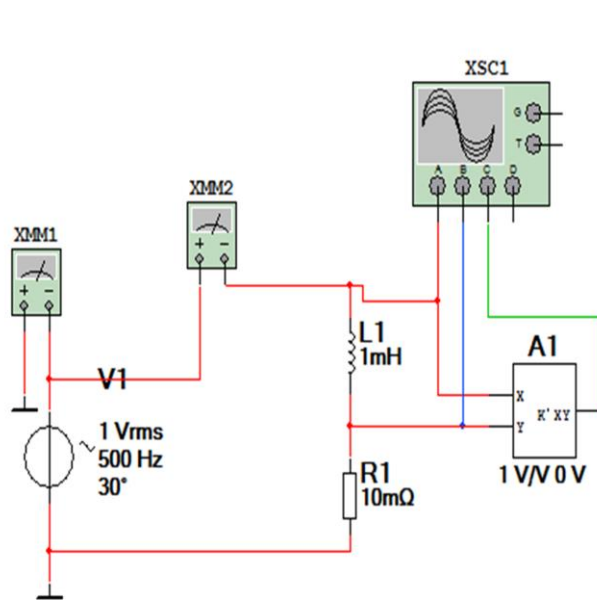


Рисунок 10: Моделирование в Multisim

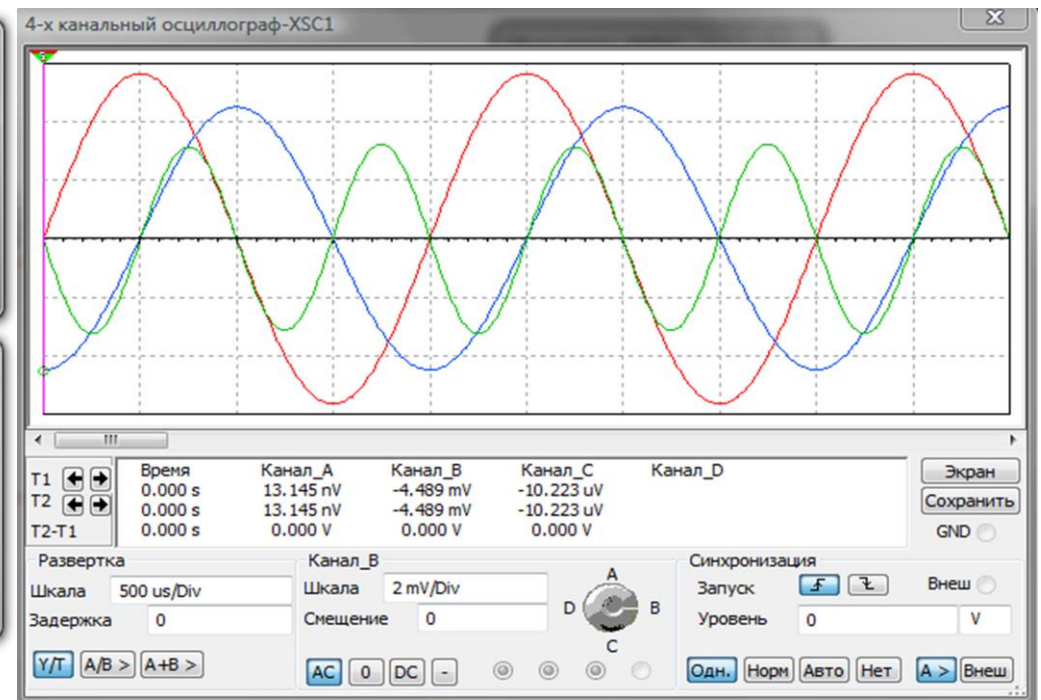
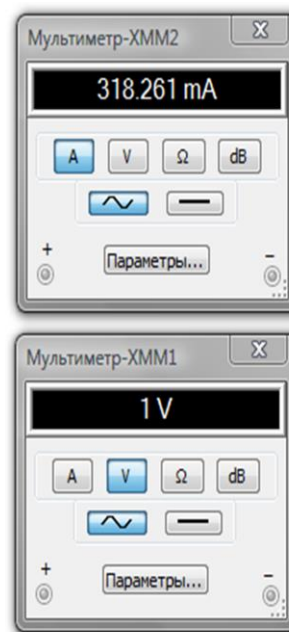


Рисунок 11: Временная диаграмма тока, напряжения и мощности

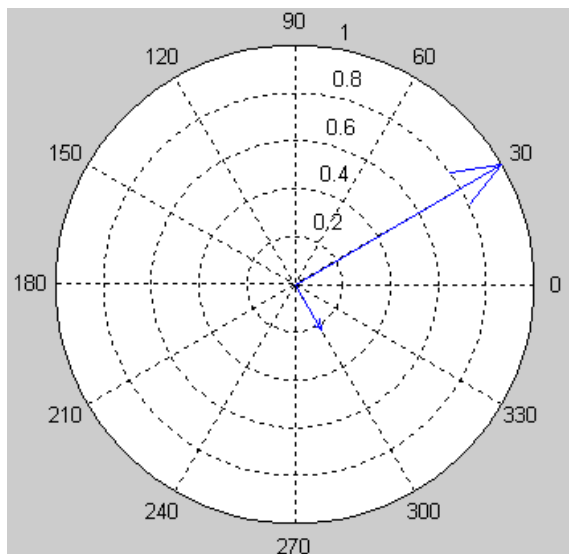


Рисунок 12: Векторная диаграмма тока и напряжения на L

Анализ мгновенной мощности в индуктивном элементе



Из аналитического выражения для мощности можно сделать вывод, что это знакопеременная функция, изменяющаяся с двойной частотой по отношению к частоте изменения напряжения U_L и тока I_L в цепи. Среднее значение мощности $P_L(t)$ за период T равно нулю. В индуктивном элементе в первую четверть периода T напряжение U_L и ток I_L имеют знак плюс, поэтому мощность больше нуля, т.е. Индуктивный элемент потребляет электрическую энергию источника и преобразовывает её в магнитную, накапливая её в магнитном поле катушке. Во вторую четверть периода напряжение U_L и ток I_L имеют противоположные знаки, поэтому мощность отрицательна. В это время накопленная магнитная энергия возвращается источнику, преобразовываясь в электрическую энергию. В третьей четверти происходит накопление энергии в магнитном поле элемента L , в четвертой — её возврат источнику энергии.

Теперь параллельно подключаем две катушки индуктивности с тем же номиналом. Общая емкость параллельно соединенных катушек индуктивности равна сумме емкостей этих конденсаторов $L_{\text{экв}} = L_1 L_2 / (L_1 + L_2)$;

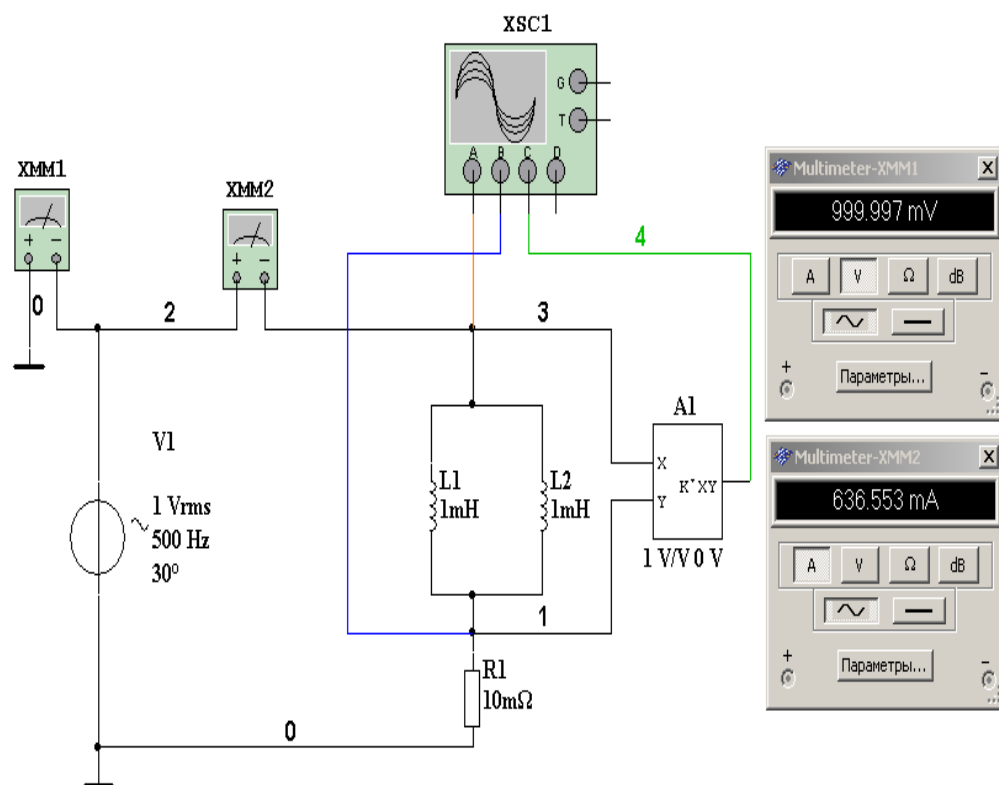


Рисунок 13: Схема моделирования в Multisim

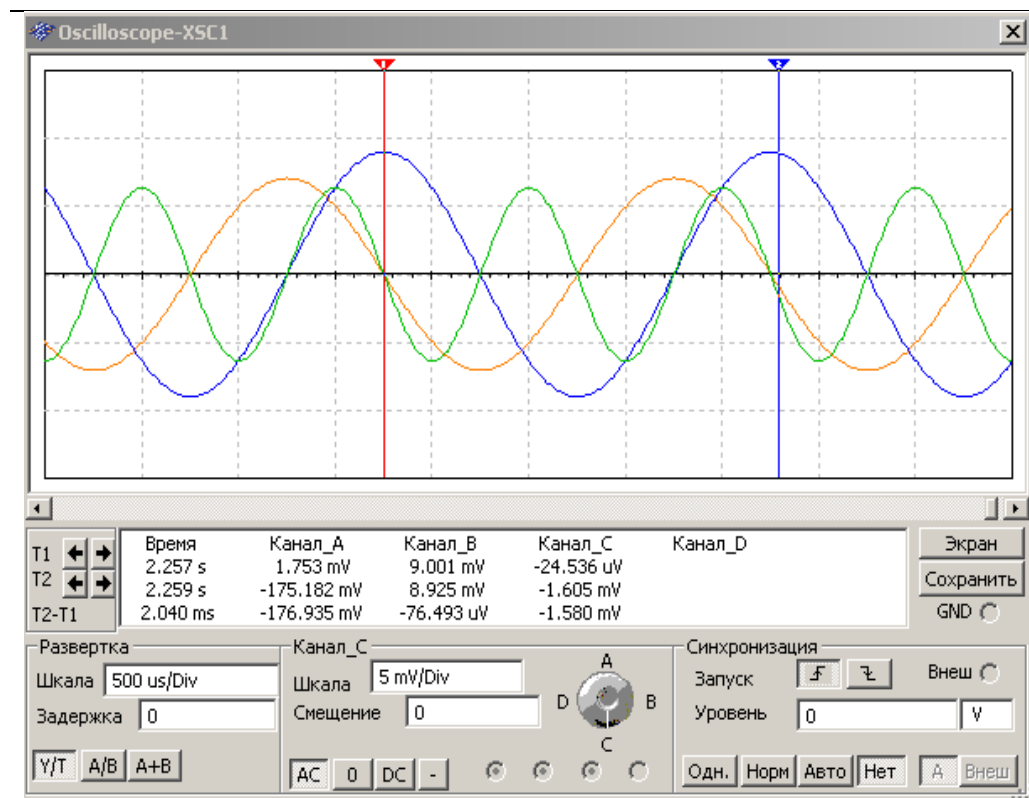


Рисунок 14: Временная диаграмма тока , напряжения и мощности

Из результатов эксперимента, можно убедиться, что ток в цепи увеличился ровно в 2 раза

Задание 5. С элемент в линейной электрической цепи синусоидального тока. Используя аналитическое выражение источника ЭДС (данные из таблицы 2) собрать принципиальную электрическую схему с С элементом. Рассчитать мгновенное значение тока, напряжения, мощности, действующие комплексные значения тока, напряжения, мощности. Собрать схему эксперимента в Multisim, снять показания осциллографа (V_{RMS} , V_{peak} , T , (мс), f (Гц), Ψ_e (°), $i(t)$, $u(t)$, $p(t)$).

Мультиметр

Моделирование->Приборы->Мультиметр

Осциллограф

Моделирование->Приборы->4-х канал. Осц

Резистор

Вставить->Компонент->Basic->Resistor

Конденсатор

Вставить->Компонент->Basic->Capacitor

Мультиплеер

Вставить->Компонент->Source->Control_Function_Blocks->Multiplier

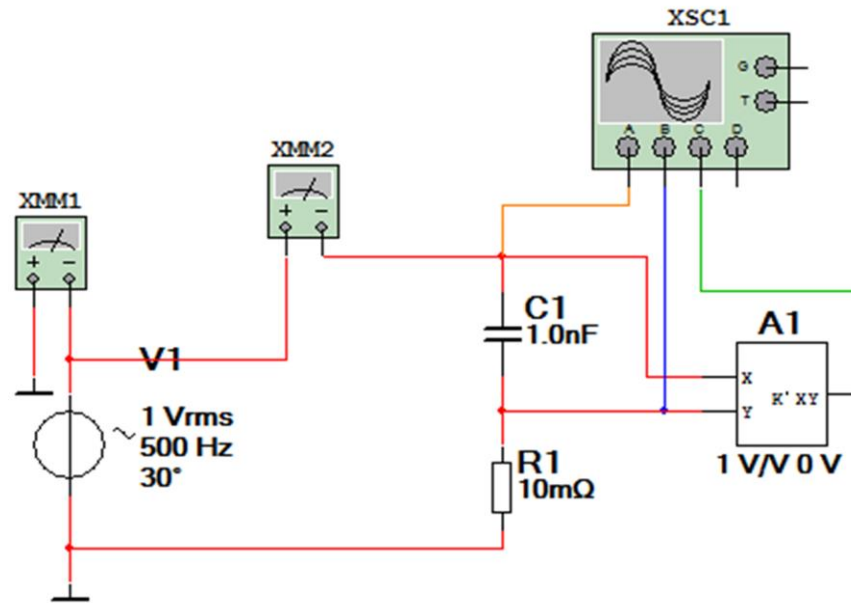


Рисунок 15: Принципиальная электрическая схема для 4 задания

$$V_{RMS} = 1 \text{ В } f = 500 \text{ Гц},$$

$$V_{peak} = 1,44 \text{ В } \Psi_e = 30^\circ$$

$$T = 0,02 \text{ с}$$

$$\text{Соотношение фазы тока и напряжения на конденсаторе } \varphi_i - \varphi_u = \frac{\pi}{2}$$

$$\text{Реактивное емкостное сопротивление } X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{3140 \cdot 10^{-9}} = 318 \text{ кОм}$$

По закону Ома $U_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$ и $i_C = C \frac{dU_C}{dt}$

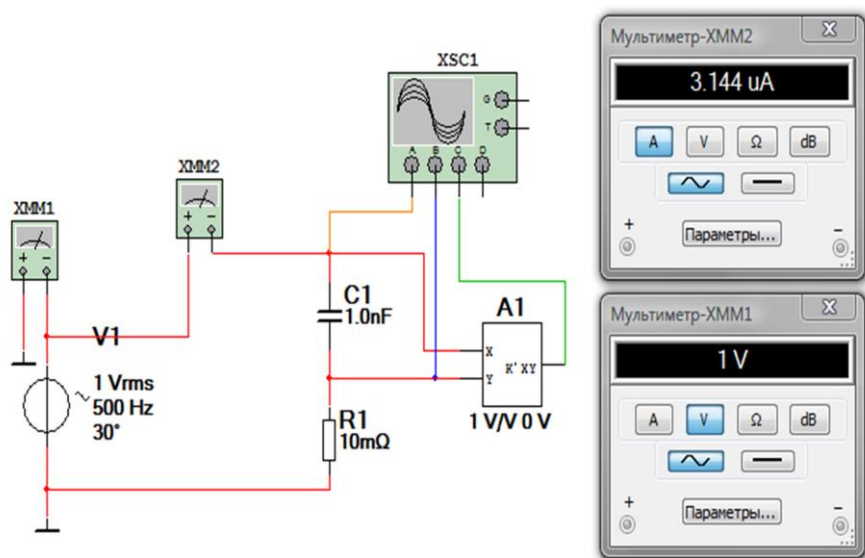


Рисунок 16: Моделирование в Multisim

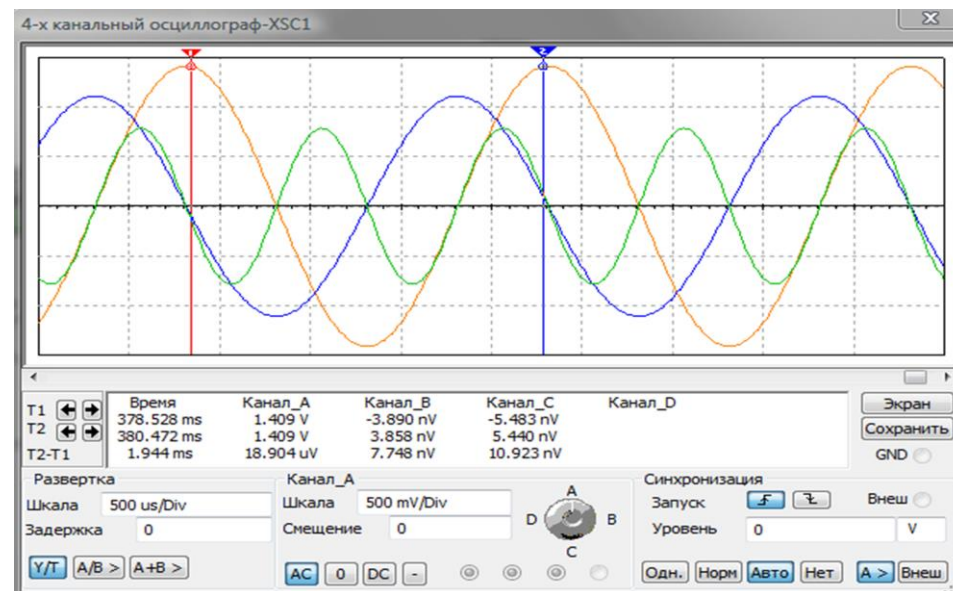


Рисунок 17: Временная диаграмма тока, напряжения и мощности

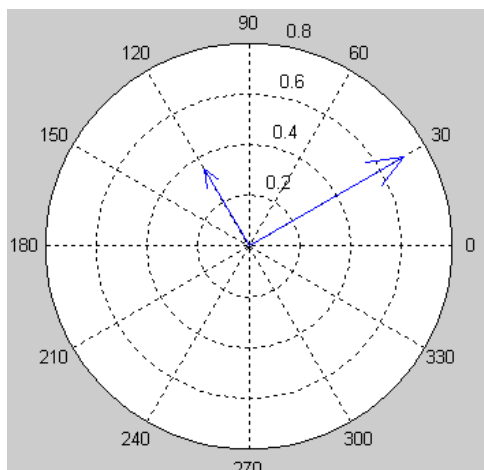


Рисунок 18: Векторная диаграмма напряжения и тока на C

Анализируя мгновенную мощность в емкостном элементе



закключаем, что это знакопеременная функция времени, изменяющаяся в противофазе с реактивной индуктивностью мощностью PL

Среднее значение мощности $P_C(t)$ за период равно нулю.

В ёмкостном элементе в первую очередь периода T напряжения U_C и ток I_C имеют разные знаки, это означает, что емкостной элемент в первую четверть возвращает накопленную электростатическую энергию источнику. Во вторую четверть периода ток и напряжение имеют одинаковое направление и следовательно конденсатор заряжается. В третьей четверти происходит возврат энергии, в четвертой зарядка конденсатора энергией.

Теперь параллельно подключаем два конденсатора с тем же номиналом. Общая емкость параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей этих конденсаторов $C_{\text{эКВ}} = C_1 + C_2$

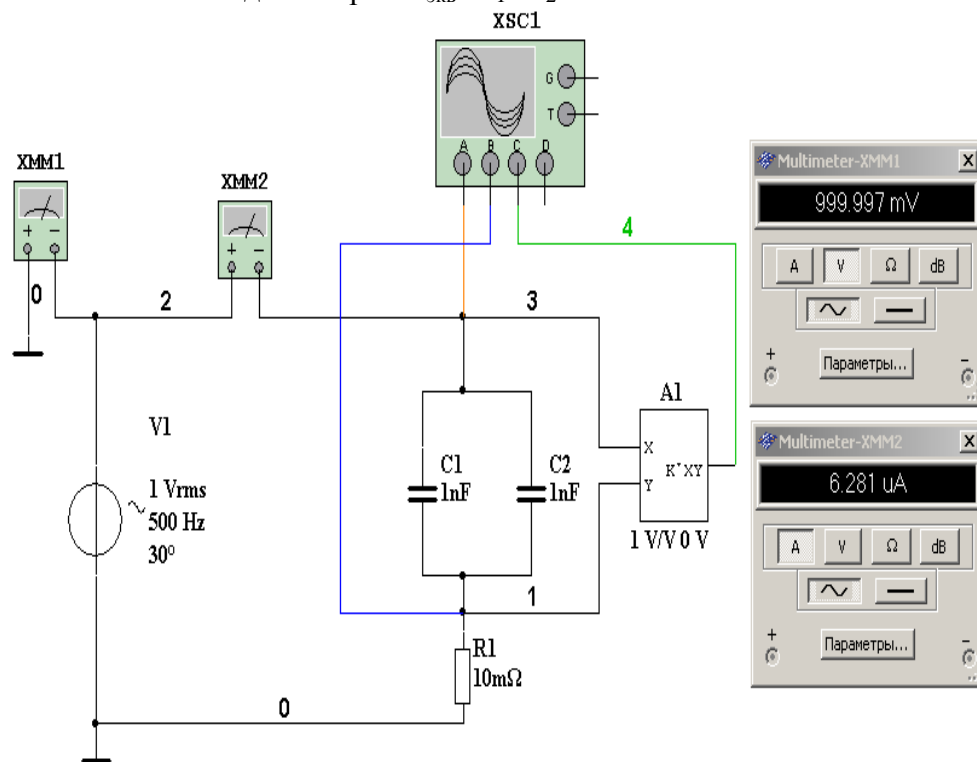


Рисунок 19: Схема моделирования в Multisim

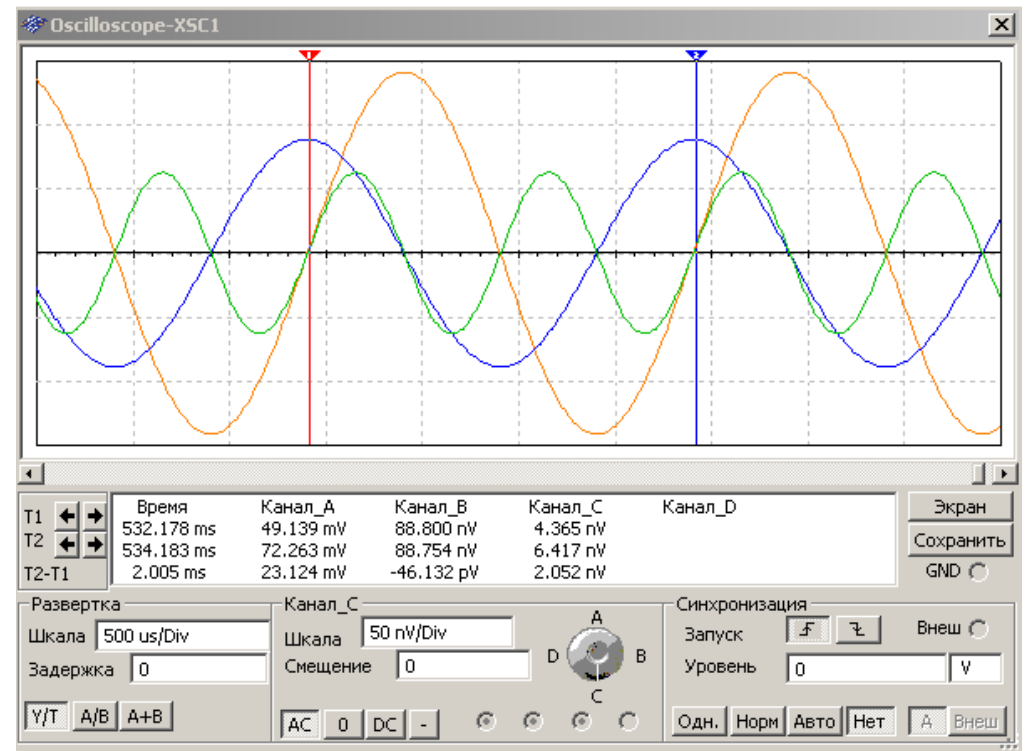


Рисунок 20: Временная диаграмма тока напряжения и мощности

Из результатов эксперимента, можно убедиться, что ток в цепи увеличился ровно в 2 раза