



НОВОУРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра промышленной электроники

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

“Анализ цепи синусоидального тока”

Вариант-А-002

Исполнитель:

Руководитель:

« ____ » _____ 20 г.

Новоуральск 20



Содержание.

1. Исходные данные и формулировка задания
.....
2. Определение сопротивления всех динамических элементов схемы и комплексных сопротивлений ветвей.
3. Определение комплексных, действующих и мгновенных значений всех токов цепи
.....
4. Определение комплексных, действующих значений всех напряжений цепи
.....
5. Решение методом непосредственного применения законов Кирхгофа
.....
6. Проверка расчетов
.....
7. Построение векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений
.....
8. Определение показаний измерительных приборов
.....
9. Построение волновых диаграмм напряжений
.....
10. Определение резонанса
.....
11. Приложение
.....
12. Замечания



Анализ цепи синусоидального тока

1. Исходные данные и формулировка задания.

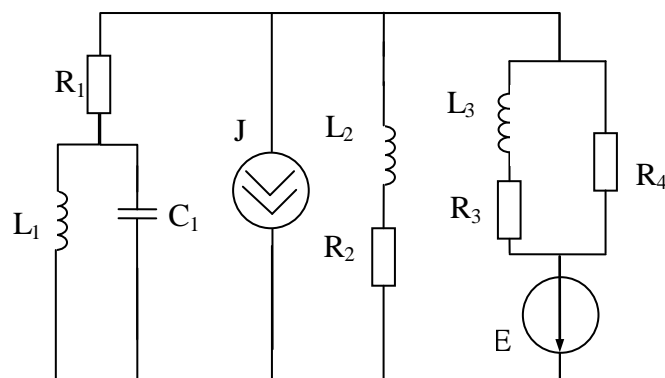


Рисунок 1. Исходная схема.

Исходные данные: схема представлена на рисунке 1.

Источник ЭДС		Источник тока		Ветвь 1			Ветвь 2		Ветвь 3	
E, В	Ψ°_E	J, А	Ψ°_J	R ₁ , Ом	L ₁ , мГн	C ₁ , мкФ	R ₂ , Ом	L ₂ , мГн	R ₃ , R ₄ Ом	L ₃ , мГн
11	20	60	100	20	64	106	60	95	30	127

$$f=50 \text{ Гц}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}$$

Задание.

В заданной схеме (рис.1):

1. Определить сопротивления всех динамических элементов схемы и комплексные сопротивления ветвей.
2. Определить комплексные действующие и мгновенные значения всех токов цепи любым, желательно рациональным, методом. Выбор метода аргументировать.
3. Определить комплексные действующие значения напряжений на каждом элементе схемы.
4. Составить систему уравнений по законам Кирхгофа относительно всех токов по ЗТК и напряжений на элементах схемы по ЗНК в комплексном виде, для построения векторных диаграмм.
5. Сделать проверку расчетов, подставив найденные выше токи и напряжения на элементах схемы в уравнения ЗТК и ЗНК п.4.
6. Построить векторную диаграмму токов (п.2) и топографические векторные диаграммы напряжений поэлементно (п.3) по системе записанной в п.3.
7. Определить показания вольтметра, подключенного для измерения напряжения на пассивной части первой ветви. Определить показания амперметра, включенного во вторую ветвь. Определить показания ваттметра, измеряющего мощность третьей ветви. Нарисовать схему с амперметром, вольтметром и ваттметром.
8. Построить в масштабе волновые диаграммы напряжений, которые можно наблюдать на осциллографе при определении сдвига фаз между током и напряжением источника напряжения. Записать мгновенные значения этих переменных. Нарисовать схему подключения осциллографа.
9. Определить, в каких частях схемы возможен резонанс при изменении частоты источников. Рассчитать частоту резонанса для любого резонансного контура. Построить АЧХ тока для этого участка схемы.



2. Определение сопротивления всех динамических элементов схемы и комплексных сопротивлений ветвей.

Перед составлением расчетной схемы найдем реактивные сопротивления элементов схемы:

$$X_{L1} = \omega \cdot L_1 = 314 \cdot 0,064 = 20,106 \text{ Ом}$$

$$X_{L2} = \omega \cdot L_2 = 314 \cdot 0,095 = 29,845 \text{ Ом}$$

$$X_{L3} = \omega \cdot L_3 = 314 \cdot 0,127 = 39,898 \text{ Ом}$$

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega \cdot C_1} = \frac{1}{314 \cdot 106 \cdot 10^{-6}} = 30,029 \text{ Ом}$$

Для определения токов в ветвях исходной цепи выберем условно положительные направления токов в ветвях, напряжения и обозначим их на схеме (рисунок 2):

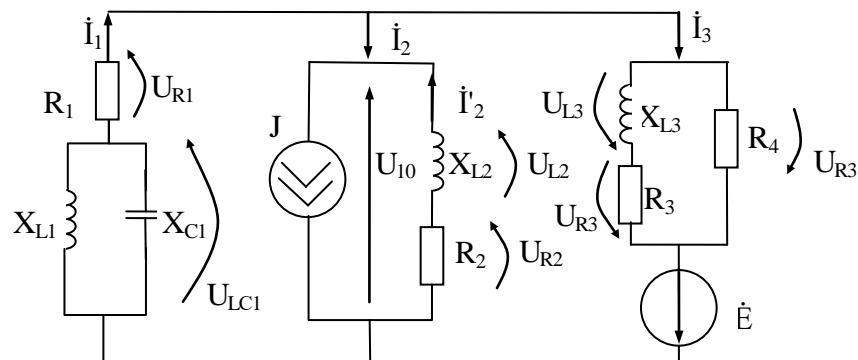


Рисунок 2. Расчетная схема.

По расчетной схеме мы можем найти комплексные сопротивления ветвей:

$$\underline{Z}_1 = \frac{jX_{L1} \cdot (-jX_{C1})}{jX_{L1} - jX_{C1}} + R_1$$

$$\underline{Z}_2 = jX_{L2} + R_2$$

$$\underline{Z}_3 = \frac{R_4 \cdot (R_3 + jX_{L3})}{R_4 + R_3 + jX_{L3}}$$

Вычислим комплексные сопротивления ветвей в программе MathCad 11 (см. приложение №3):

$$\underline{Z}_1 = 20 + j60,845 = 64,048e^{j72^\circ}$$

$$\underline{Z}_2 = 60 + j29,845 = 67,013e^{j26^\circ}$$

$$\underline{Z}_3 = 19.599 + j6,916 = 20,783e^{j19^\circ}$$

Исходя из найденных комплексных сопротивлений ветвей, можно изобразить эквивалентную схему:

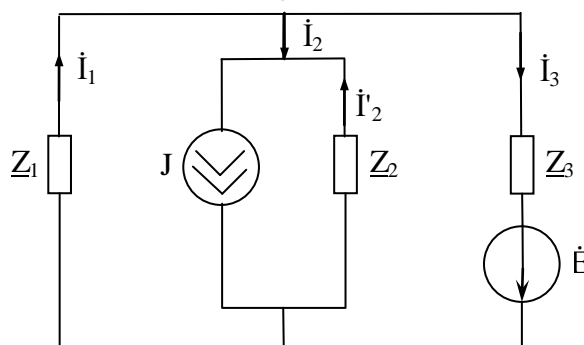


Рисунок 3. Эквивалентная схема.



3. Определение комплексных, действующих и мгновенных значений всех токов цепи

Для определения токов в цепи воспользуемся методом узловых напряжений. Данный метод будет более целесообразен, т.к. мы сразу сможем найти напряжение на ветвях схемы.

Воспользуемся эквивалентной схемой (рисунок 3) и обозначим на ней узлы (рисунок 4):

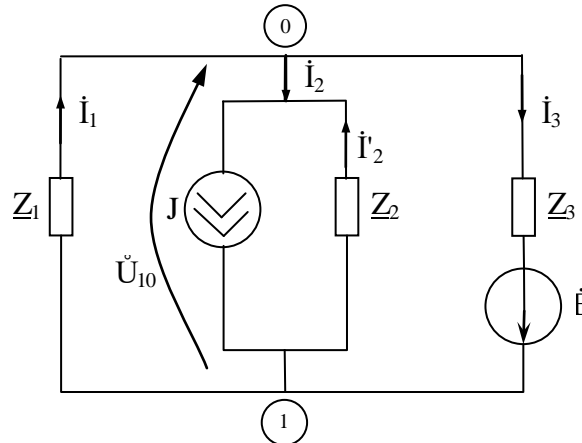


Рисунок 4. Схема для метода узловых напряжений.

$$\dot{U}_{10} \left(\frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} + \frac{1}{\underline{Z}_3} \right) = \frac{\dot{E}}{\underline{Z}_3} + J \Rightarrow \dot{U}_{10} = \frac{\frac{\dot{E}}{\underline{Z}_3} + J}{\frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} + \frac{1}{\underline{Z}_3}}$$

Найдем напряжение в программе MathCad 11 (см. приложение №4):

$$\dot{U}_{10} = -521,77 + j621,49 = 811,48e^{j130^\circ}$$

Теперь можно найти токи ветвей:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{10}}{\underline{Z}_1}$$

$$\dot{I}_2 = J - \dot{I}'_2 \quad \dot{I}'_2 = \frac{\dot{U}_{10}}{\underline{Z}_2} \Rightarrow \dot{I}_2 = J - \frac{\dot{U}_{10}}{\underline{Z}_2}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{10} - \dot{E}}{-\underline{Z}_3}$$

Используя программу MathCad 11 (см. приложение №4) получим значения токов в ветвях схемы:

Таблица 1

Комплексное значение тока	Действующее значение тока, А	Мгновенное значение тока
$\dot{I}_1 = 6,674 + j10,769 = 12,669e^{j58^\circ}$	$I_1 = 12,669$	$i_1(t) = 12,669 \cdot \sqrt{2} \sin(314t + 58^\circ)$
$\dot{I}_2 = -7,57 + j47,317 = 47,92e^{j99^\circ}$	$I_2 = 47,92$	$i_2(t) = 47,92 \cdot \sqrt{2} \sin(314t + 99^\circ)$
$\dot{I}'_2 = -2,84 + j11,771 = 12,109e^{j103^\circ}$	$I'_2 = 12,109$	$i'_2(t) = 12,109 \cdot \sqrt{2} \sin(314t + 103^\circ)$
$\dot{I}_3 = 14,252 - j36,547 = 39,228e^{-j69^\circ}$	$I_3 = 39,228$	$i_3(t) = 39,228 \cdot \sqrt{2} \sin(314t - 69^\circ)$



Зная токи ветвей, можно найти токи на элементах схемы:

$$\dot{i}_{C1} = \dot{i}_1 \frac{jX_{L1}}{-jX_{C1} + jX_{L1}}$$

$$\dot{i}_{L3} = \dot{i}_3 \cdot \frac{R_4}{jX_{L3} + R_3 + R_4}$$

$$\dot{i}_{L1} = \dot{i}_1 \frac{-jX_{C1}}{-jX_{C1} + jX_{L1}}$$

$$\begin{aligned} \dot{i}_{L2} &= \dot{i}'_2 \\ \dot{i}_{R2} &= \dot{i}'_2 \end{aligned}$$

$$\dot{i}_{R3} = \dot{i}_3 \cdot \frac{R_4}{jX_{L3} + R_3 + R_4}$$

$$\dot{i}_{R1} = \dot{i}_1$$

$$\dot{i}_{R4} = \dot{i}_3 \cdot \frac{jX_{L3} + R_3}{jX_{L3} + R_3 + R_4}$$

Воспользовавшись программой MathCad 11 (см. приложение №6), получим значения токов на элементах схемы:

Таблица 2

Комплексное значение тока	Действующее значение тока, А	Мгновенное значение тока
$\dot{i}_{C1} = -13,523 - j21,82 = 25,671e^{-j121^\circ}$	$I_{C1} = 25,671$	$i_{C1}(t) = 25,671 \cdot \sqrt{2} \sin(314t - 121^\circ)$
$\dot{i}_{L1} = 20,198 + j32,59 = 38,341e^{j58^\circ}$	$I_{L1} = 38,341$	$i_{L1}(t) = 38,341 \cdot \sqrt{2} \sin(314t + 58^\circ)$
$\dot{i}_{R1} = 6,674 + j10,769 = 12,669e^{j58^\circ}$	$I_{R1} = 12,669$	$i_{R1}(t) = 12,669 \cdot \sqrt{2} \sin(314t + 58^\circ)$
$\dot{i}_{L2} = -2,84 + j11,771 = 12,109e^{j103^\circ}$	$I_{L2} = 12,109$	$i_{L2}(t) = 12,109 \cdot \sqrt{2} \sin(314t + 103^\circ)$
$\dot{i}_{R2} = -2,84 + j11,771 = 12,109e^{j103^\circ}$	$I_{R2} = 12,109$	$i_{R2}(t) = 12,109 \cdot \sqrt{2} \sin(314t + 103^\circ)$
$\dot{i}_{L3} = -3,484 - j15,956 = 16,332e^{-j102^\circ}$	$I_{L3} = 16,332$	$i_{L3}(t) = 16,332 \cdot \sqrt{2} \sin(314t - 102^\circ)$
$\dot{i}_{R3} = -3,484 - j15,956 = 16,332e^{-j102^\circ}$	$I_{R3} = 16,332$	$i_{R3}(t) = 16,332 \cdot \sqrt{2} \sin(314t - 102^\circ)$
$\dot{i}_{R4} = 17,736 - j20,591 = 27,177e^{-j49^\circ}$	$I_{R4} = 27,177$	$i_{R4}(t) = 27,177 \cdot \sqrt{2} \sin(314t - 49^\circ)$



4. Определение комплексных, действующих значений всех напряжений цепи

Используя комплексные значения токов полученных в пункте 2 и расчетную схему (рисунок 2), найдем комплексные напряжения на элементах схемы:

$$\dot{U}_{C1} = -jX_{C1} \cdot \dot{I}_{C1}$$

$$\dot{U}_{L1} = jX_{L1} \cdot \dot{I}_{L1}$$

$$\dot{U}_{R1} = R_1 \cdot \dot{I}_{R1}$$

$$\dot{U}_{L2} = jX_{L2} \cdot \dot{I}_{L2}$$

$$\dot{U}_{R2} = R_2 \cdot \dot{I}_{R2}$$

$$\dot{U}_{L3} = jX_{L3} \cdot \dot{I}_{L3}$$

$$\dot{U}_{R3} = R_3 \cdot \dot{I}_{R3}$$

$$\dot{U}_{R4} = R_4 \cdot \dot{I}_{R4}$$

Используя программу MathCad 11 (см. приложение №8), получим значения напряжений:

Таблица 3

Комплексное значение напряжения	Действующее значение напряжения, В
$\dot{U}_{C1} = -655,261 + j406,109 = 770,903e^{j148^\circ}$	$U_{C1} = 770,903$
$\dot{U}_{L1} = -655,261 + j406,109 = 770,903e^{j148^\circ}$	$U_{L1} = 770,903$
$\dot{U}_{R1} = 133,488 + j215,385 = 253,396e^{j58^\circ}$	$U_{R1} = 253,396$
$\dot{U}_{L2} = -351,317 - j84,787 = 361,404e^{-j166^\circ}$	$U_{L2} = 361,404$
$\dot{U}_{R2} = -170,455 + j706,281 = 726,559e^{j103^\circ}$	$U_{R2} = 726,559$
$\dot{U}_{L3} = 636,647 - j139,028 = 651,65e^{-j12^\circ}$	$U_{L3} = 651,65$
$\dot{U}_{R3} = -104,537 - j478,703 = 489,984e^{-j102^\circ}$	$U_{R3} = 489,984$
$\dot{U}_{R4} = 532,109 - j617,732 = 815,311e^{-j49^\circ}$	$U_{R4} = 815,311$



5. Решение методом непосредственного применения законов Кирхгофа

Построим граф эквивалентной схемы (рисунок 3), обозначим на графе главные сечения и главные контуры (рисунок 5).

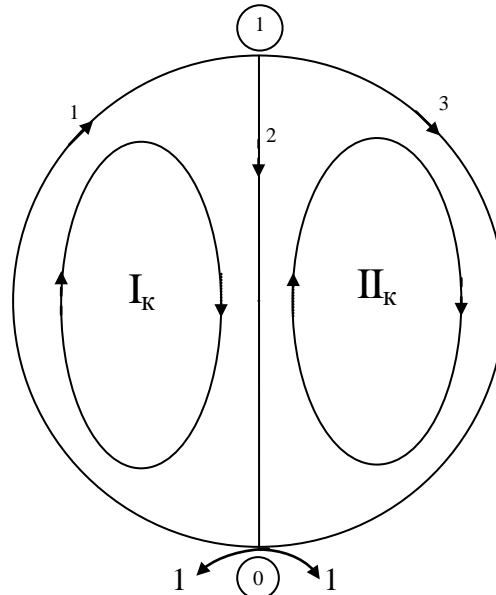


Рисунок 5. Граф эквивалентной схемы

Используя граф схемы (рисунок 5), запишем уравнения, составленные по ЗНК для главных контуров.

$$\text{ЗНК } I_k: \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 + \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_2 = \dot{J} \cdot \underline{Z}_2$$

$$\text{ЗНК } II_k: -\dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_2 + \dot{I}_3 \cdot \underline{Z}_3 = \dot{E} - \dot{J} \cdot \underline{Z}_2$$

Используя граф схемы (рисунок 5), запишем уравнение, составленное по ЗТК для главного сечения.

$$\text{ЗТК 1-1 (0 узел): } \dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0$$

Используя уравнения, составленные по ЗНК и ЗТК, запишем систему уравнений относительно неизвестных токов.

$$\begin{cases} \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 + \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_2 = \dot{J} \cdot \underline{Z}_2 \\ -\dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_2 + \dot{I}_3 \cdot \underline{Z}_3 = \dot{E} - \dot{J} \cdot \underline{Z}_2 \\ \dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0 \end{cases}$$

Решив матричное уравнение в программе MathCAD 11 (см. приложение №5), получим токи:

$$\dot{I}_1 = 6,674 + j10,769 = 12,669e^{j58^\circ}$$

$$\dot{I}_2 = -7,577 + j47,317 = 47,92e^{j99^\circ}$$

$$\dot{I}_3 = 14,252 - j36,547 = 39,2283e^{-j69^\circ}$$

Т.к. найденные токи совпадают с токами, которые были найдены в п.3, то токи на элементах будут такие же, как и в п.3.



6. Проверка расчетов

Решим уравнения в программе MathCAD 11 (см. приложение №9).

$$\underline{\dot{E}} = 11e^{j20^\circ} = 10,336 + j3,762$$

$$\underline{\dot{U}}_{10} = -521,772 + j621,494 = 811,481e^{j130^\circ}$$

$$\underline{\dot{J}} = -10,418 + j59,088 = 60e^{j100^\circ}$$

Сделаем проверку уравнений по законам Кирхгофа:

ЗНК I_к: $\dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 + \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_2 = \dot{J} \cdot \underline{Z}_2$

$$\dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 + \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_2 = -2388,636 + j3234,354$$

$$\dot{J} \cdot \underline{Z}_2 = -2388,636 + j3234,354$$

ЗНК II_к: $-\dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_2 + \dot{I}_3 \cdot \underline{Z}_3 = \dot{E} - \dot{J} \cdot \underline{Z}_2$

$$-\dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_2 + \dot{I}_3 \cdot \underline{Z}_3 = 2398,972 - j3230,592$$

$$\dot{E} - \dot{J} \cdot \underline{Z}_2 = 2398,972 - j3230,592$$

ЗТК 1-1 (0 узел): $\dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0$

$$\dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0,00001 - j0$$

Напряжения первой ветви: $\dot{U}_{R1} + \dot{U}_{L1} = \dot{U}_{10}$

$$\dot{U}_{R1} + \dot{U}_{L1} = -521,773 + j621,494$$

$$\dot{U}_{10} = -521,772 + j621,494$$

Напряжения второй ветви: $\dot{U}_{L2} + \dot{U}_{R2} = \dot{U}_{10}$

$$\dot{U}_{R2} + \dot{U}_{L2} = -521,773 + j621,494$$

$$\dot{U}_{10} = -521,772 + j621,494$$

Напряжения третьей ветви: $\dot{U}_{L3} + \dot{U}_{R3} = E - \dot{U}_{10}$

$$\dot{U}_{L3} + \dot{U}_{R3} = 532,109 - j617,732$$

$$E - \dot{U}_{10} = 532,109 - j617,732$$

ЗНК и ЗТК сошлись, значит, токи и напряжения найдены верно.

7. Построение векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений

По полученным значениям токов и напряжений построим топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.

Векторная диаграмма токов предоставлена на миллиметровке (см. приложение, №12).

Топографическая диаграмма напряжений предоставлена на миллиметровке (см. приложение, №13).



8. Определение показаний измерительных приборов

Для измерения показаний будем использовать вольтметр, подключенный в пассивную часть первой ветви; амперметр подключим во вторую ветвь; ваттметр для измерения мощности используем в 3 ветви.

Схема подключения приборов представлена на рисунке 6:

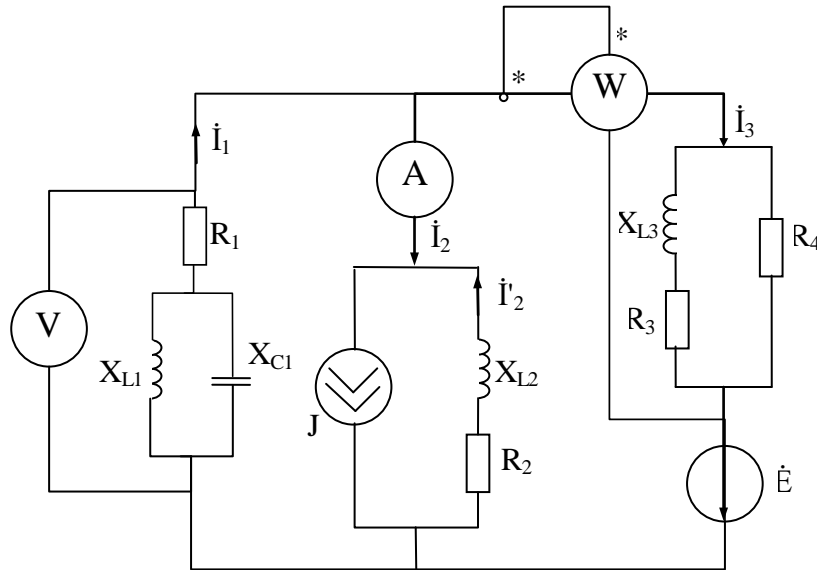


Рисунок 6. Схема с подключенными приборами

$$U_V = \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 = U_{10} = 811,481 \text{ В}$$

$$I_A = I_2 = 47,92 \text{ А}$$

$$P_W = |I_3|^2 \cdot R_3 + |I_4|^2 \cdot R_4 = (16.33282)^2 \cdot 30 + (27.17707)^2 \cdot 30 = 30160.624 \text{ Вт}$$



9. Построение волновых диаграмм напряжений

Для построения волновых диаграмм напряжений нужно к схеме представленной на рисунке 2 подключить осциллограф (рисунок 7). Добавим в схему резистор R_0 сопротивлением 1 Ом:

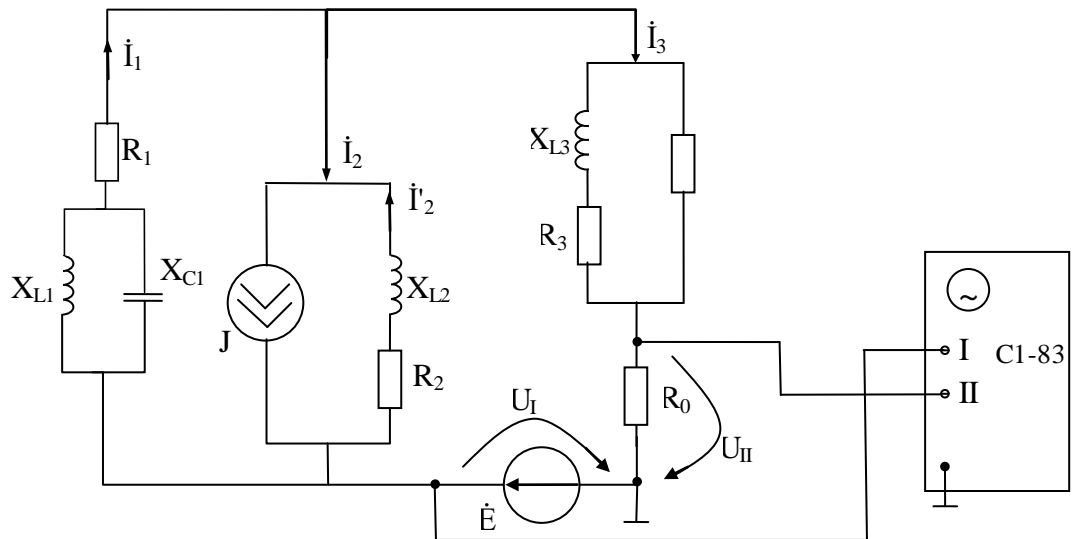


Рисунок 7. Схема подключения осциллографа

Определим мгновенные значения:

$$U_I(t) = E_m \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + \Psi_e)$$

$$U_{II}(t) = i_{m3} \cdot \sqrt{2} \cdot R_0 \cdot \sin(\omega t + \Psi_{i3})$$

$$\varphi = \Psi_e - \Psi_{i3}$$

$$U_I(t) = 11 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(314t + 20^\circ)$$

$$U_{II}(t) = 39,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 1 \cdot \sin(314t - 68^\circ)$$

$$\varphi = 20^\circ + 68^\circ = 88^\circ \Rightarrow I_3(U_{II}) \text{ опережает } U_E(U_I)$$

Построим в масштабе волновые диаграммы напряжений (рисунок 8), которые можно наблюдать на осциллографе при определении сдвига фаз между током и напряжением источников. Диаграммы построены в программе MathCad 11.

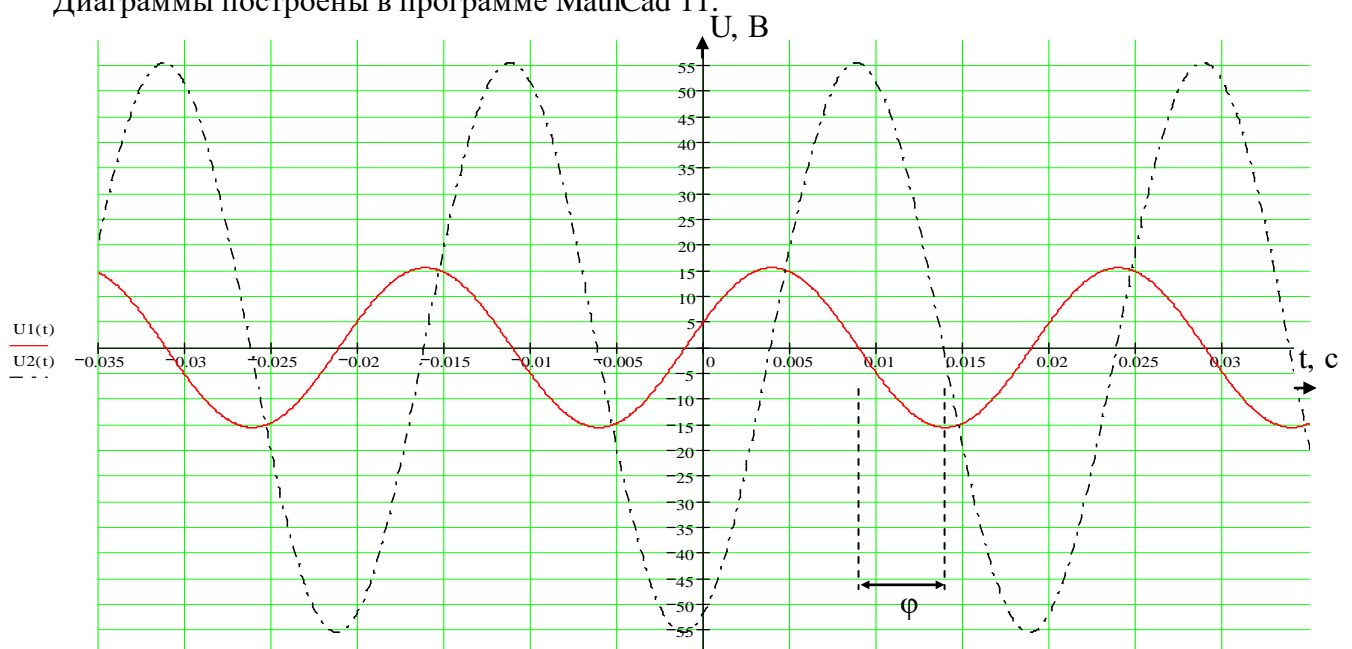


Рисунок 8. Волновые диаграммы напряжений



10. Определение резонанса

В расчетной схеме (рисунок 2) при изменении частоты источников резонанс возможен в первой и второй ветви. Но проще рассчитать частоту резонанса во второй ветви.

Определим частоту при которой возможен резонанс:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C_1}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{64 \cdot 10^{-3} \cdot 106 \cdot 10^{-6}}} = 383,934 \text{ рад/с}$$

Для вычисления резонанса воспользуемся программой MathCad 11 (см. приложение №10):

Найдем АЧХ для данного участка схемы исходя из пунктов 1 и 2:

Зададим интервал изменения частоты:

$$\omega = 0.2 \cdot \omega_0 = 0.767,868 \text{ рад/с}$$

Выразим ток I_1 через ω :

$$I_1(\omega) = \frac{\dot{U}_{10}}{Z_1} = \frac{\frac{\frac{\dot{E}}{Z_3} + j}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}}}{R_1 + \frac{\frac{-j}{\omega \cdot C_1} \cdot j\omega \cdot L_1}{j\omega \cdot L_1 - \frac{j}{\omega \cdot C_1}}} + \frac{\frac{\frac{\dot{E}}{R_4 \cdot (R_3 + j\omega \cdot L_3)} + j}{R_4 + R_3 + j\omega \cdot L_3}}{\frac{1}{j\omega \cdot L_2 + R_2} + \frac{1}{R_4 + R_3 + j\omega \cdot L_3}} + \frac{R_4 \cdot (R_3 + j\omega \cdot L_3)}{R_4 + R_3 + j\omega \cdot L_3}}$$

Получена зависимость тока от частоты.

Воспользуемся программой MathCad 11 для построения графика АЧХ (рисунок 9):

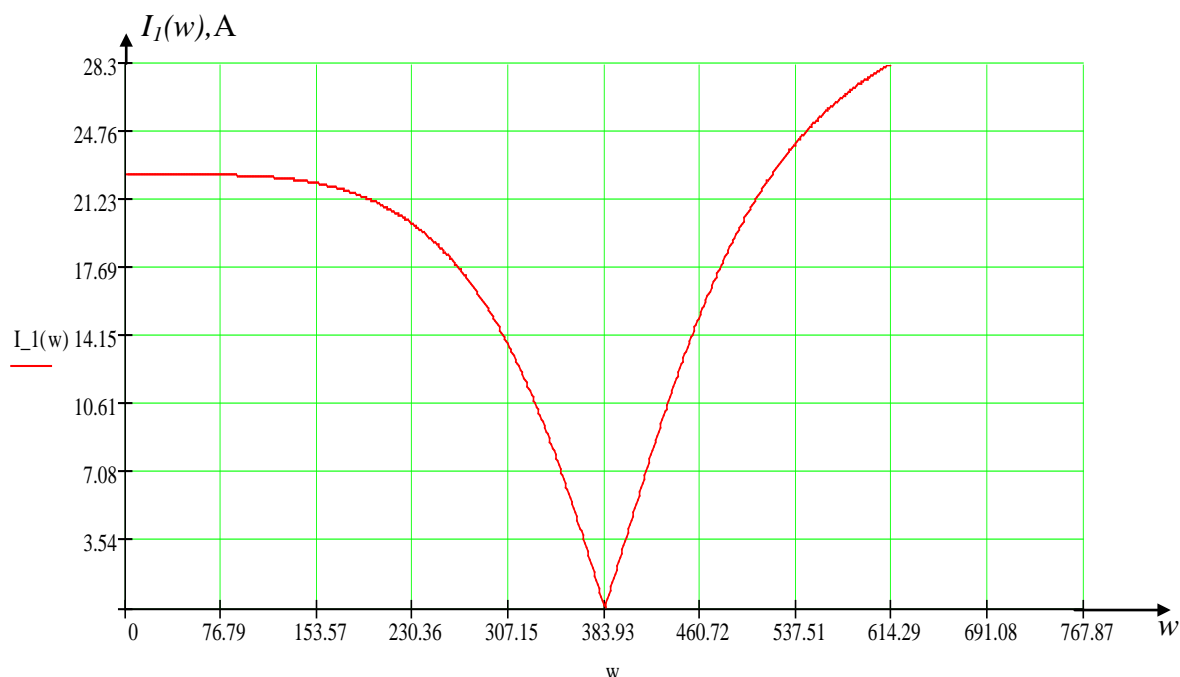


Рисунок 9. АЧХ для участка схемы с током I_1



Приложение

№1 Исходные данные:

$$\psi_e := 20 \quad E := 11 \cdot e^{\frac{\psi_e i \pi}{180}} \quad \psi_j := 100 \quad J := 60 \cdot e^{\frac{\psi_j i \pi}{180}} \quad f := 50 \quad w := 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$E = 10.33662 + 3.76222j \quad J = -10.41889 + 59.08847j$$

Ветвь 1

$$R1 := 20$$

$$L1 := 64 \cdot 10^{-3}$$

$$C1 := 106 \cdot 10^{-6}$$

Ветвь 2

$$R2 := 60$$

$$L2 := 95 \cdot 10^{-3}$$

Ветвь 3

$$R3 := 30$$

$$R4 := 30$$

$$L3 := 127 \cdot 10^{-3}$$

№2 Определение X для элементов:

$$XL1 := w \cdot L1 \quad XL1 = 20.10619$$

$$XL2 := w \cdot L2 \quad XL2 = 29.84513$$

$$XL3 := w \cdot L3 \quad XL3 = 39.89823$$

$$XC1 := \frac{1}{w \cdot C1} \quad XC1 = 30.029$$

№3 Определение Z ветвей:

$$Z1 := \frac{XL1 \cdot i \cdot (-XC1 \cdot i)}{XL1 \cdot i - XC1 \cdot i} + R1 \quad Z1 = 20 + 60.84562j \quad |Z1| = 64.04833 \quad \arg(Z1) \cdot \frac{180}{\pi} = 71.80427$$

$$Z2 := XL2 \cdot i + R2 \quad Z2 = 60 + 29.84513j \quad |Z2| = 67.01292 \quad \arg(Z2) \cdot \frac{180}{\pi} = 26.44662$$

$$Z3 := \frac{R4 \cdot (R3 + XL3 \cdot i)}{R4 + R3 + XL3 \cdot i} \quad Z3 = 19.59912 + 6.91628j \quad |Z3| = 20.78366 \quad \arg(Z3) \cdot \frac{180}{\pi} = 19.43728$$

№4 Метод узловых напряжений:

$$U10 := \frac{\frac{E}{Z3} + J}{\frac{1}{Z1} + \frac{1}{Z2} + \frac{1}{Z3}} \quad U10 = -521.77295 + 621.49443j \quad |U10| = 811.48157 \quad \arg(U10) \cdot \frac{180}{\pi} = 130.01499$$

$$i1 := \frac{U10}{Z1} \quad i1 = 6.67442 + 10.76925j \quad |i1| = 12.66983 \quad \arg(i1) \cdot \frac{180}{\pi} = 58.21073$$

$$i22 := \frac{U10}{Z2} \quad i22 = -2.84092 + 11.77137j \quad |i22| = 12.10933 \quad \arg(i22) \cdot \frac{180}{\pi} = 103.56838$$

$$i2 := J - i22 \quad i2 = -7.57797 + 47.3171j \quad |i2| = 47.92007 \quad \arg(i2) \cdot \frac{180}{\pi} = 99.09882$$

$$i3 := \frac{U10 - E}{-Z3} \quad i3 = 14.2524 - 36.54785j \quad |i3| = 39.22852 \quad \arg(i3) \cdot \frac{180}{\pi} = -68.69594$$

№5 Применение законов Кирхгофа:

$$A := \begin{pmatrix} Z1 & Z2 & 0 \\ 0 & -Z2 & Z3 \\ 1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} J \cdot Z2 \\ E - J \cdot Z2 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$I1 := 6.67442 + 10.76925j \quad |I1| = 12.66983$$

$$I2 := -7.57797 + 47.3171j \quad |I2| = 47.92007$$

$$I3 := 14.2524 - 36.54785j \quad |I3| = 39.22851$$

$$I := A^{-1} \cdot B \quad I = \begin{pmatrix} 6.67442 + 10.76925j \\ -7.57797 + 47.3171j \\ 14.2524 - 36.54785j \end{pmatrix}$$



$$\arg(I_3) \cdot \frac{180}{\pi} = -68.69593 \quad \arg(I_2) \cdot \frac{180}{\pi} = 99.09882 \quad \arg(I_1) \cdot \frac{180}{\pi} = 58.21075$$

№6 Расчет токов по элементам схемы:

$IL1 := I1 \cdot \frac{-XC1 \cdot i}{-XC1 \cdot i + XL1 \cdot i}$	$IL1 = 20.19821 + 32.59004j$	$ IL1 = 38.3416$	$\arg(IL1) \cdot \frac{180}{\pi} = 58.21075$
$IC1 := I1 \cdot \frac{XL1 \cdot i}{-XC1 \cdot i + XL1 \cdot i}$	$IC1 = -13.52379 - 21.82079j$	$ IC1 = 25.67177$	$\arg(IC1) \cdot \frac{180}{\pi} = -121.78925$
$IR1 := I1$	$IR1 = 6.67442 + 10.76925j$	$ IR1 = 12.66983$	$\arg(IR1) \cdot \frac{180}{\pi} = 58.21075$
$IL2 := I2$	$IL2 = -2.84092 + 11.77137j$	$ IL2 = 12.10933$	$\arg(IL2) \cdot \frac{180}{\pi} = 103.5684$
$IR2 := I2$	$IR2 = -2.84092 + 11.77137j$	$ IR2 = 12.10933$	$\arg(IR2) \cdot \frac{180}{\pi} = 103.5684$
$IL3 := I3 \cdot \frac{R4}{(XL3 \cdot i + R3) + R4}$	$IL3 = -3.48459 - 15.95678j$	$ IL3 = 16.33282$	$\arg(IL3) \cdot \frac{180}{\pi} = -102.31866$
$IR3 := I3 \cdot \frac{R4}{(XL3 \cdot i + R3) + R4}$	$IR3 = -3.48459 - 15.95678j$	$ IR3 = 16.33282$	$\arg(IR3) \cdot \frac{180}{\pi} = -102.31866$
$IR4 := I3 \cdot \frac{XL3 \cdot i + R3}{(XL3 \cdot i + R3) + R4}$	$IR4 = 17.73699 - 20.59107j$	$ IR4 = 27.17707$	$\arg(IR4) \cdot \frac{180}{\pi} = -49.25865$

№7 Расчет напряжений:

$U1 := i1 \cdot Z1$	$U1 = -521.77295 + 621.49443j$	$ U1 = 811.48157$	$\arg(U1) \cdot \frac{180}{\pi} = 130.01499$
$U2 := i22 \cdot Z2$	$U2 = -521.77295 + 621.49443j$	$ U2 = 811.48157$	$\arg(U2) \cdot \frac{180}{\pi} = 130.01499$
$U3 := -i3 \cdot Z3 + E$	$U3 = -521.77295 + 621.49443j$	$ U3 = 811.48157$	$\arg(U3) \cdot \frac{180}{\pi} = 130.01499$

№8 Расчет напряжений по элементам:

$UL1 := XL1 \cdot IL1 \cdot i$	$UL1 = -655.26166 + 406.1092j$	$ UL1 = 770.90371$	$\arg(UL1) \cdot \frac{180}{\pi} = 148.21075$
$UC1 := -XC1 \cdot IC1 \cdot i$	$UC1 = -655.26166 + 406.1092j$	$ UC1 = 770.90371$	$\arg(UC1) \cdot \frac{180}{\pi} = 148.21075$
$UR1 := R1 \cdot IR1$	$UR1 = 133.4884 + 215.385j$	$ UR1 = 253.39663$	$\arg(UR1) \cdot \frac{180}{\pi} = 58.21075$
$UL2 := XL2 \cdot IL2 \cdot i$	$UL2 = -351.31793 - 84.78765j$	$ UL2 = 361.40452$	$\arg(UL2) \cdot \frac{180}{\pi} = -166.4316$
$UR2 := R2 \cdot IR2$	$UR2 = -170.45524 + 706.28191j$	$ UR2 = 726.55979$	$\arg(UR2) \cdot \frac{180}{\pi} = 103.5684$
$UL3 := XL3 \cdot IL3 \cdot i$	$UL3 = 636.64716 - 139.0288j$	$ UL3 = 651.65068$	$\arg(UL3) \cdot \frac{180}{\pi} = -12.31866$
$UR3 := R3 \cdot IR3$	$UR3 = -104.53758 - 478.70335j$	$ UR3 = 489.9847$	$\arg(UR3) \cdot \frac{180}{\pi} = -102.31866$
$UR4 := R4 \cdot IR4$	$UR4 = 532.10958 - 617.73215j$	$ UR4 = 815.31197$	$\arg(UR4) \cdot \frac{180}{\pi} = -49.25865$



№9 Проверка расчетов:

$$I1 \cdot Z1 + I2 \cdot Z2 = -2388.63647 + 3234.3547j$$

$$J \cdot Z2 = -2388.63638 + 3234.35476j$$

$$-(I2 \cdot Z2) + I3 \cdot Z3 = 2398.97279 - 3230.59265j$$

$$E - J \cdot Z2 = 2398.973 - 3230.59254j$$

$$I1 - I2 - I3 = -0.00001 - 0j$$

$$UL3 + UR3 = 532.10958 - 617.73215j$$

$$E - U10 = 532.10957 - 617.73221j$$

$$UL2 + UR2 = -521.77317 + 621.49426j$$

$$U10 = -521.77295 + 621.49443j$$

$$UR1 + UL1 = -521.77326 + 621.4942j$$

$$U10 = -521.77295 + 621.49443j$$

$$J = -10.41889 + 59.08847j$$

$$I2 + I2' = -10.41889 + 59.08847j$$

$$I1 = 6.67442 + 10.76925j$$

$$I2 + I3 = 6.67443 + 10.76925j$$

$$IR1 = 6.67442 + 10.76925j$$

$$IL1 + IC1 = 6.67442 + 10.76925j$$

$$IL2 = -2.84092 + 11.77137j$$

$$I2' = -2.84092 + 11.77137j$$

$$IL3 + IR4 = 14.2524 - 36.54785j$$

$$I3 = 14.2524 - 36.54785j$$

$$IR4 + IR3 = 14.2524 - 36.54785j$$

$$I3 = 14.2524 - 36.54785j$$

№10 Резонанс 1 ветви:

$$w0 := \frac{1}{\sqrt{L1 \cdot C1}}$$

$$w0 = 383.93445$$

$$XL1o := w0 \cdot L1$$

$$XC1o := \frac{1}{w0 \cdot C1}$$

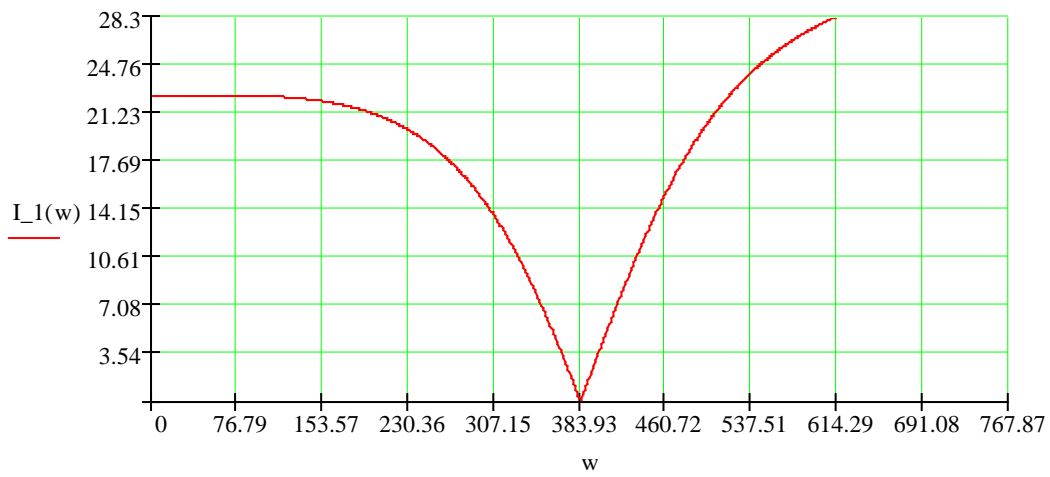
$$XL1o = 24.5718$$

$$XC1o = 24.5718$$

$$w := 0..2 \cdot w0$$

$$I_1(w) :=$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\frac{E}{R4 \cdot (R3 + w \cdot L3 \cdot i)} + J}{R4 + R3 + w \cdot L3 \cdot i} \\
& \frac{1}{R1 + \frac{-i}{w \cdot C1} \cdot (w \cdot L1 \cdot i)} + \frac{1}{i \cdot w \cdot L2 + R2} + \frac{1}{\frac{R4 \cdot (R3 + w \cdot L3 \cdot i)}{R4 + R3 + w \cdot L3 \cdot i}} \\
& \frac{w \cdot L1 \cdot i - \frac{i}{w \cdot C1}}{\frac{-i}{w \cdot C1} \cdot (w \cdot L1 \cdot i)} \\
& R1 + \frac{w \cdot L1 \cdot i - \frac{i}{w \cdot C1}}{\frac{-i}{w \cdot C1} \cdot (w \cdot L1 \cdot i)}
\end{aligned}$$





Контрольная

Всё сдал! — онлайн-сервис помощи студентам.

Цены на работы

в **2-3** раза
ниже

Срок исполнения

от **1** дня

Замечания



Контрольная

Всё сдал! — онлайн-сервис помощи студентам.

Цены на работы

в **2-3** раза
ниже

Срок исполнения

от **1** дня