

Практическое задание № 1

«Линейные электрические цепи синусоидального тока»

Номер варианта работы состоит из двух чисел, которые разделены точками (X.X.), и определяется с помощью табл. 1. **Первое число** варианта задает конфигурацию расчетной электрической цепи в табл. 2, а **второе число** – параметры цепи в табл. 3.

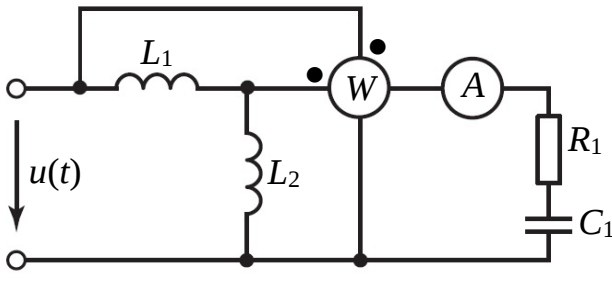
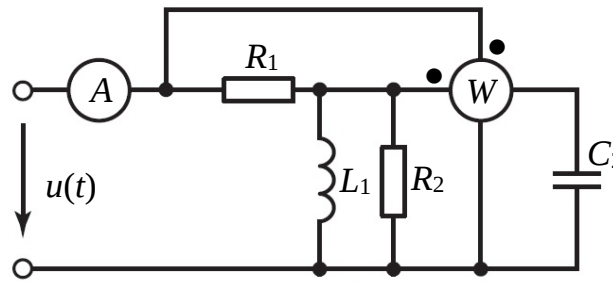
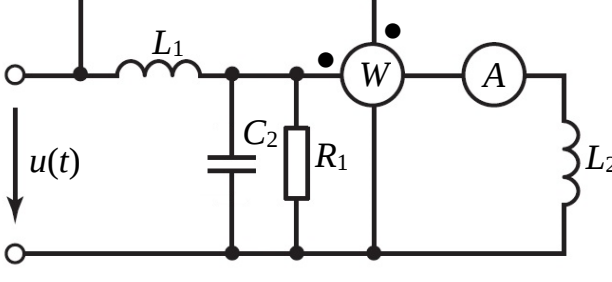
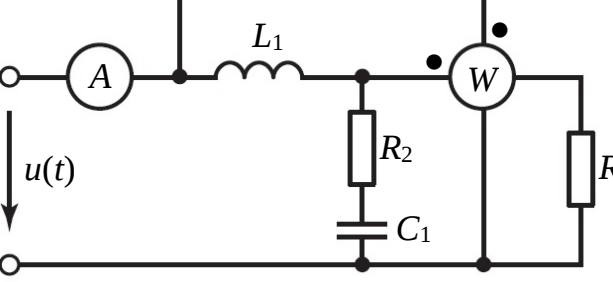
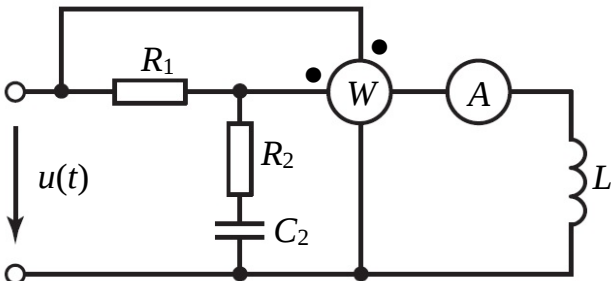
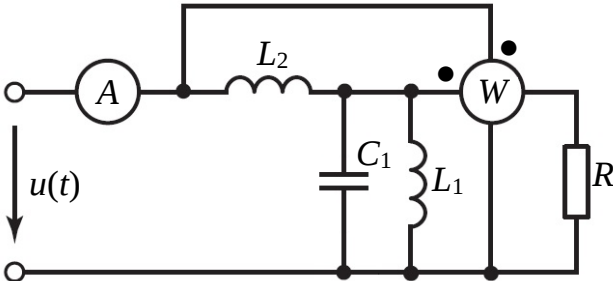
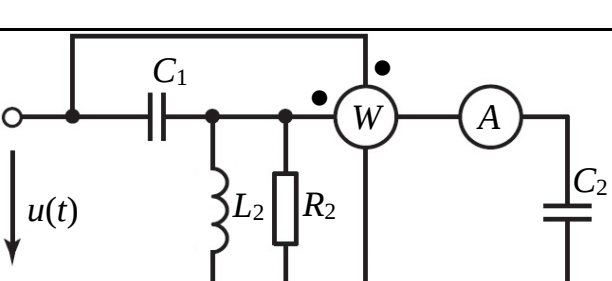
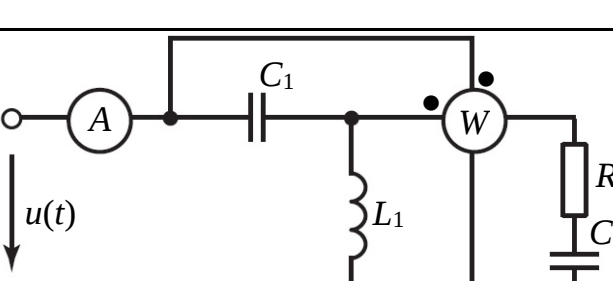
Таблица 1

Формирование варианта заданий

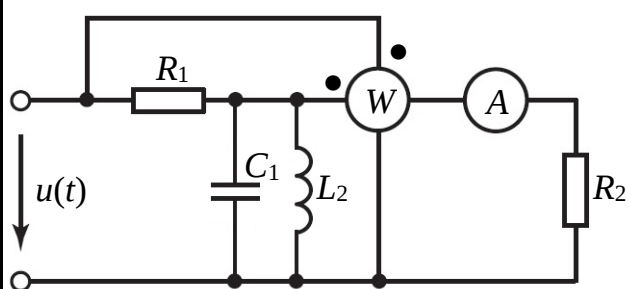
Первая буква фамилии студента	Номер варианта	Первая буква имени студента	Номер варианта
А, П	1.X	А, П	X.1
Б, Р	2.X	Б, Р	X.2
В, С	3.X	В, С	X.3
Г, Т	4.X	Г, Т	X.4
Д, У	5.X	Д, У	X.5
Е, Ф	6.X	Е, Ф	X.6
Ж, Х	7.X	Ж, Х	X.7
З, Ц	8.X	З, Ц	X.8
И, Ч	9.X	И, Ч	X.9
К, Ш	10.X	К, Ш	X.10
Л, Щ	11.X	Л, Щ	X.11
М, Э	12.X	М, Э	X.12
Н, Ю	13.X	Н, Ю	X.13
О, Я	14.X	О, Я	X.14

Таблица 2

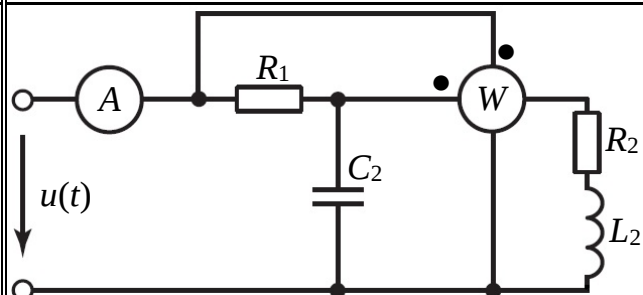
Конфигурация расчетной электрической цепи синусоидального тока

№ 1 	№ 2 
№ 3 	№ 4 
№ 5 	№ 6 
№ 7 	№ 8 

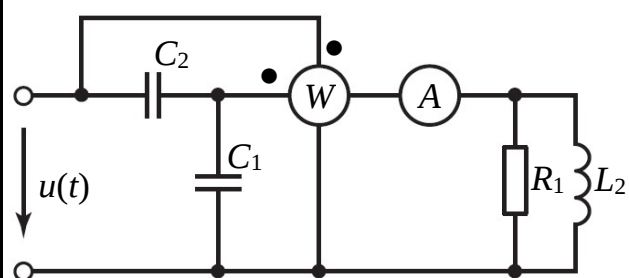
№ 9



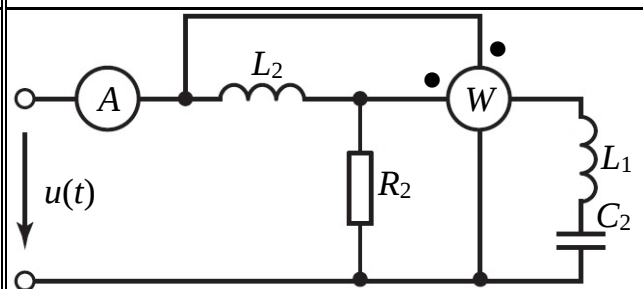
№ 10



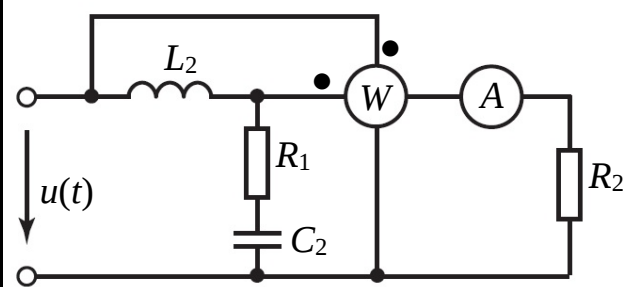
№ 11



№ 12



№ 13



№ 14

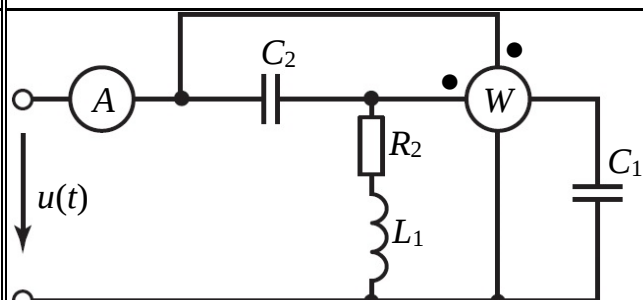


Таблица 3

Параметры электрической цепи синусоидального тока

№	R_1	R_2	L_1	L_2	C_1	C_2	ω	I_A
	Ом	Ом	мГн	мГн	мкФ	мкФ	$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	А
1	80	50	200	500	100	50	200	3
2	100	120	600	400	50	40	250	2
3	90	45	150	250	60	100	300	1
4	60	80	200	100	50	70	350	4
5	50	40	150	200	25	50	400	5
6	55	45	100	90	30	60	450	6
7	40	50	80	60	70	40	500	7
8	45	35	50	70	50	80	550	8
9	30	40	50	30	90	60	600	9
10	25	15	20	40	80	100	650	10
11	25	30	35	25	70	60	700	4
12	40	35	30	40	40	50	750	3
13	45	60	55	35	40	30	800	2
14	70	80	50	100	30	15	850	1

Задание

1. Определите активное, реактивное и полное сопротивления расчетной электрической цепи относительно входных зажимов.
2. Определите мгновенное значение напряжения на входных зажимах цепи синусоидального тока $u(t)$, если заданы параметры электрической цепи и ток, протекающий в амперметре I_A .
3. Определите показания ваттметра, а также активную, реактивную и полную мощности расчетной электрической цепи синусоидального тока.
4. Постройте векторную диаграмму расчетной электрической цепи на основании результатов расчета пункта 2.
5. Постройте временные зависимости напряжения $u(t)$ и тока $i_A(t)$ по найденным законам изменения.

Рекомендации по выполнению задания 2

1. Необходимо ознакомиться с темой «Анализ линейных электрических цепей синусоидального тока».
2. Выполнить необходимые расчеты электрической цепи согласно варианту, используя образец выполнения.
3. Прислать подробное решение задания на проверку преподавателю.

Образец выполнения практического задания № 1

Запишем исходные данные расчетной электрической цепи синусоидального тока.

Параметры электрической цепи: $R_1 = 60 \text{ Ом}$, $L_1 = 0,1 \text{ Гн}$, $C_1 = 50 \text{ мкФ}$, $\omega = 400 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Показания амперметра равны: $I = 2 \text{ А}$.

Конфигурация расчетной электрической цепи изображена на рис. 1.

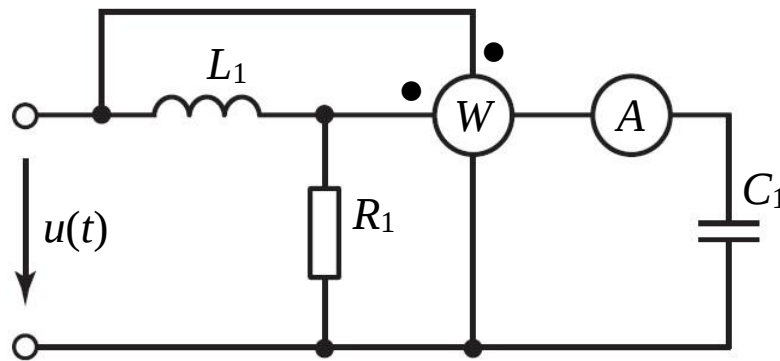


Рис. 1. Расчетная электрическая цепь

Решение

1. Определим сопротивления реактивных элементов, которые проявляют зависимость от частоты тока по формуле 1:

$$\begin{aligned} x_{L1} &= \omega \cdot L_1 = 400 \cdot 0,1 = 40 \text{ Ом}, \\ x_{C1} &= \frac{1}{\omega \cdot C_1} = \frac{10^6}{400 \cdot 50} = 50 \text{ Ом}. \end{aligned} \quad (1)$$

Участок цепи с активным и емкостным сопротивлениями имеет параллельное соединение относительно входных зажимов, а индуктивное сопротивление последовательно с ним – последовательное, поэтому запишем выражение для комплексного сопротивления всей цепи (формула 2):

$$\begin{aligned} \underline{Z} &= jx_{L1} + \frac{R_1 \cdot (-jx_{C1})}{R_1 - jx_{C1}} = j40 + \frac{60 \cdot (-j50)}{60 - j50} = \\ &= j40 + 24,59 - j29,51 = 24,59 + j10,49 \text{ Ом}. \end{aligned} \quad (2)$$

Найдем активное, реактивное и полное сопротивления цепи синусоидального тока (формула 3):

$$\begin{aligned}
 R &= \operatorname{Re}(\underline{Z}) = 24,59 \text{ Ом}, \\
 x &= \operatorname{Im}(\underline{Z}) = 10,49 \text{ Ом}, \\
 z &= \sqrt{R^2 + x^2} = \sqrt{24,59^2 + 10,49^2} = 26,74 \text{ Ом}.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

2. Найдем мгновенное напряжение на входных зажимах цепи синусоидального тока, воспользовавшись законом Ома в комплексной форме. Изобразим схему замещения расчётной электрической цепи для комплексных напряжений и токов (рис. 2).

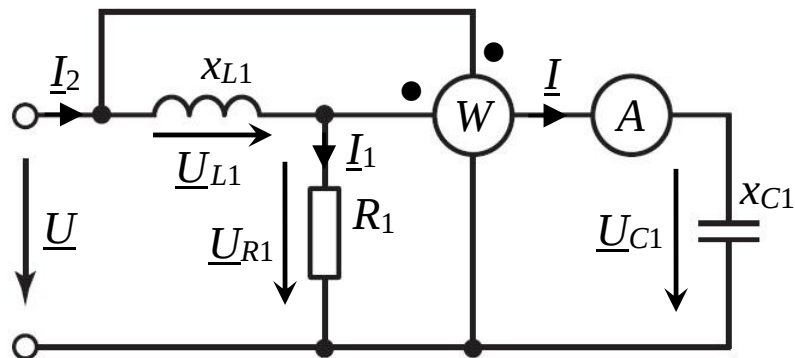


Рис. 2. Схема замещения расчетной цепи для комплексных величин

Полагая, что начальная фаза комплексного тока $\underline{I}$ равна нулю, то комплексное напряжение на емкостном сопротивлении найдем по формуле 4:

$$\underline{U}_{C1} = -jx_{C1} \cdot \underline{I} = -j50 \cdot 2 = -j100 \text{ В.} \tag{4}$$

Поскольку участок цепи с активным и емкостным сопротивлениями имеет параллельное соединение, то комплексные напряжения на этих двух элементах цепи одинаковые, а комплексный ток $\underline{I}_1$ определим по формуле 5:

$$\begin{aligned}
 \underline{U}_{R1} &= \underline{U}_{C1} = -j100 \text{ В}, \\
 \underline{I}_1 &= \frac{\underline{U}_{R1}}{R_1} = \frac{-j100}{60} = -j1,67 \text{ А.}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Комплексный входной ток $\underline{I}_2$ найдем по I закону Кирхгофа по формуле 6:

$$\underline{I}_2 = \underline{I} + \underline{I}_1 = 2 - j1,67 = 2,6 \cdot e^{-j39,8^\circ} \text{ А.} \tag{6}$$

Таким образом, найдем комплекс напряжения на индуктивном сопротивлении по закону Ома (формула 7):

$$\underline{U}_{L1} = jx_{L1} \cdot \underline{I}_2 = j40 \cdot 2,6 \cdot e^{-j39,8^\circ} = 104,14 \cdot e^{j50,2^\circ} \text{ В.} \quad (7)$$

Определим комплекс входного напряжения $\underline{U}$, применяя II закон Кирхгофа по формуле 8:

$$\begin{aligned} \underline{U} &= \underline{U}_{L1} + \underline{U}_{R1} = 104,14 \cdot e^{j50,2^\circ} + (-j100) = \\ &= 66,67 + j80 - j100 = 66,67 - j20 = 69,6 \cdot e^{-j16,7^\circ} \text{ В.} \end{aligned} \quad (8)$$

По найденному комплексу напряжения запишем мгновенное значение напряжения по формуле 9:

$$u(t) = 98,4 \cdot \sin(400t - 16,7^\circ) \text{ В.} \quad (9)$$

3. Определим показания ваттметра, который отображает активную мощность в части электрической цепи (рис. 3). Его показания зависят от особенностей подключения токовой обмотки и обмотки напряжения.

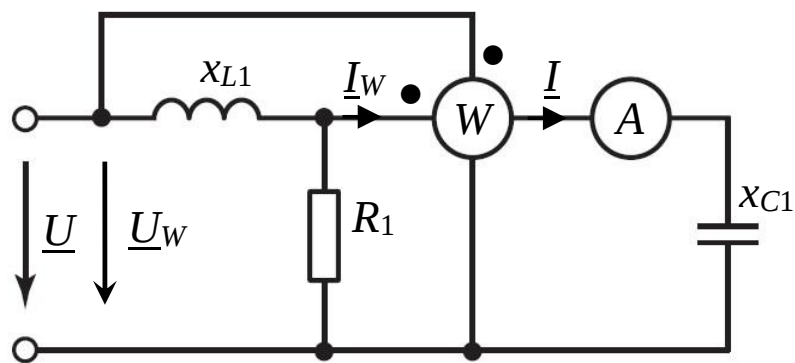


Рис. 3. Определение показания ваттметра

Активную мощность, отображаемую ваттметром, находим по формуле 10:

$$\begin{aligned} \underline{U}_W &= \underline{U}, \quad \underline{I}_W = \underline{I}, \\ P_W &= U_W \cdot I_W \cdot \cos(\widehat{\underline{U}_W; \underline{I}_W}) = \\ &= 69,6 \cdot 2 \cdot \cos(-16,7^\circ; 0^\circ) = 133,3 \text{ Вт.} \end{aligned} \quad (10)$$

Найдем значения активной, реактивной и полной мощностей расчетной электрической цепи синусоидального тока (формула 11):

$$\begin{aligned} P &= I_1^2 \cdot R_1 = 1,67^2 \cdot 60 = 166,7 \text{ Вт,} \\ Q &= I_2^2 \cdot x_{L1} - I^2 \cdot x_{C1} = 2,6^2 \cdot 40 - 2^2 \cdot 50 = 71,1 \text{ вар,} \\ S &= \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{166,7^2 + 71,1^2} = 181,2 \text{ В} \cdot \text{А.} \end{aligned} \quad (11)$$

4. На основе расчетных данных пункта 2 построим векторную диаграмму комплексных напряжений и токов (рис. 4).

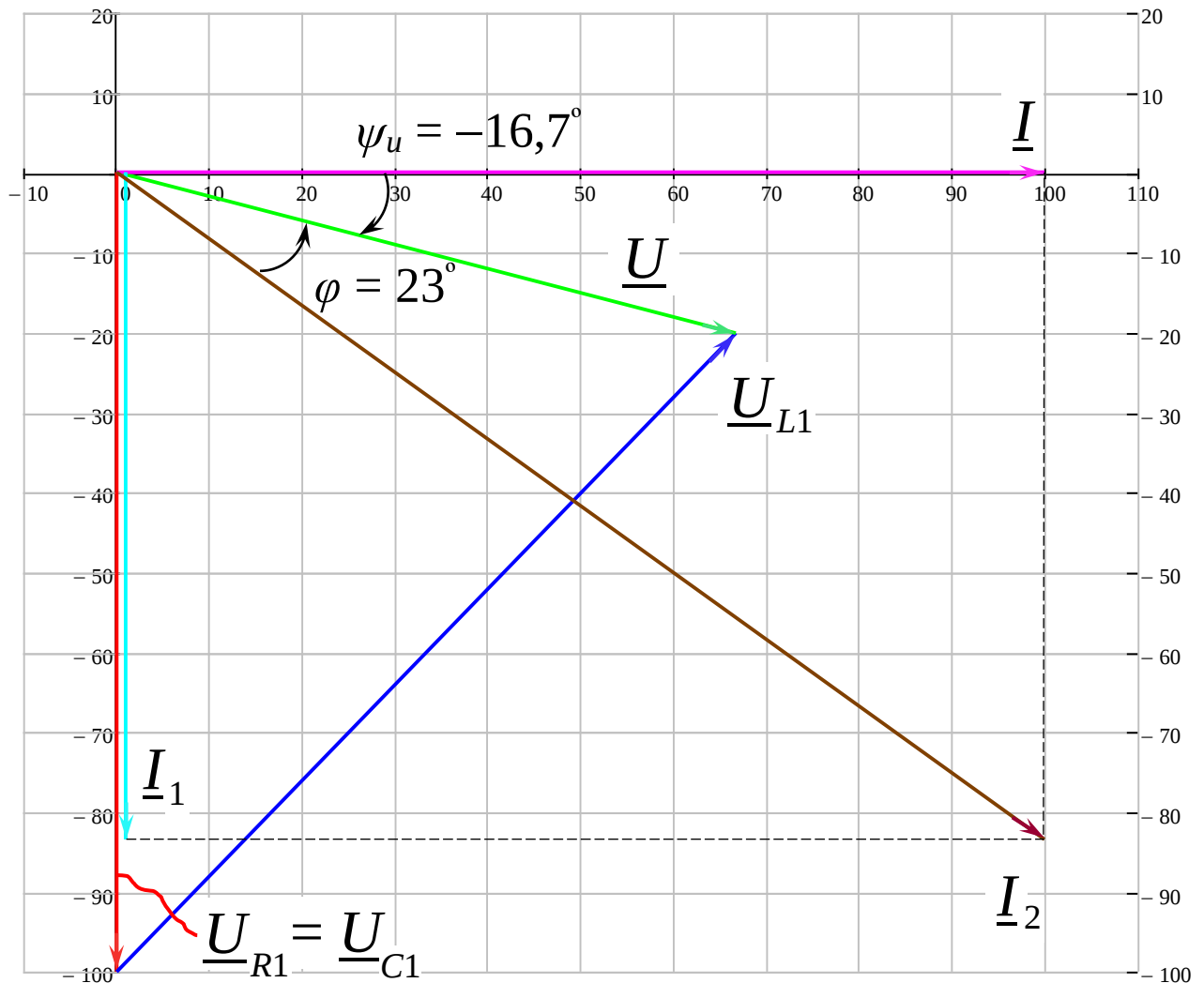


Рис. 4. Векторная диаграмма комплексных напряжений и токов

Видно, что первый и второй законы Кирхгофа выполняются именно для комплексных напряжений и токов (геометрическая сумма векторов на плоскости).

5. Построим временные зависимости напряжения $u(t)$ и тока $i_A(t)$ по записанным законам изменения (формула 12):

$$\begin{aligned} u(t) &= 98,4 \cdot \sin(400t - 16,7^\circ) \text{ В}, \\ i_A(t) &= 2,83 \cdot \sin(400t + 0^\circ) \text{ А}. \end{aligned} \quad (12)$$

Строим временные зависимости напряжения и тока (рис. 5).

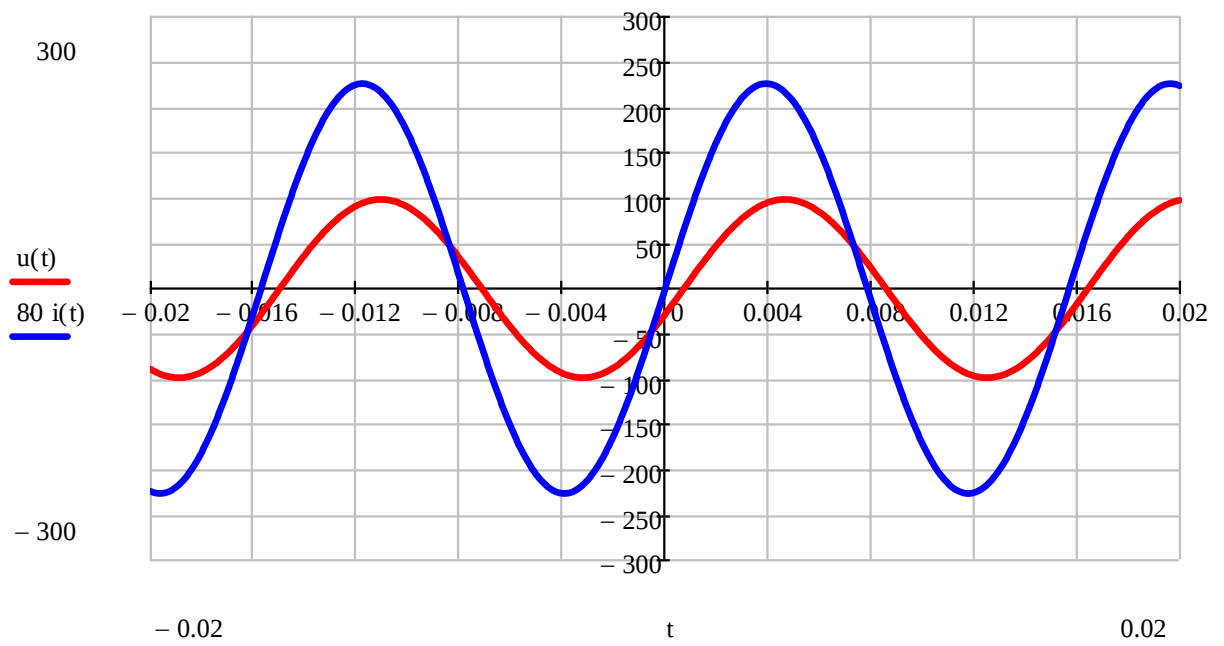


Рис. 5. Временные зависимости $u(t)$ и $i_A(t)$

Титульный лист практического задания

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(Наименование института)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(Наименование кафедры, центра, департамента)

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 1

по учебному курсу «Теоретические основы электротехники 1»

Вариант ____

Обучающегося

(И.О. Фамилия)

Группа

Преподаватель

(И.О. Фамилия)

Тольятти 20__

Практическое задание № 2

«Линейные электрические цепи синусоидального тока с индуктивно связанными элементами»

Номер варианта работы состоит из двух чисел, которые разделены точками (X.X.), и определяется с помощью табл. 1. **Первое число** варианта задает конфигурацию расчетной электрической цепи в табл. 2, а **второе число** – параметры цепи в табл. 3.

Таблица 1

Формирование варианта заданий

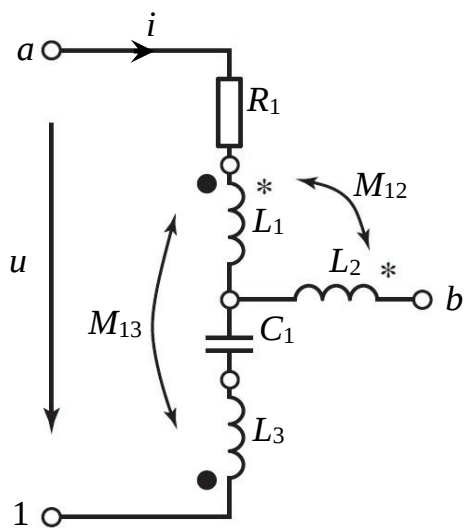
Первая буква фамилии студента	Номер варианта	Первая буква имени студента	Номер варианта
А, П	1.X	А, П	X.1
Б, Р	2.X	Б, Р	X.2
В, С	3.X	В, С	X.3
Г, Т	4.X	Г, Т	X.4
Д, У	5.X	Д, У	X.5
Е, Ф	6.X	Е, Ф	X.6
Ж, Х	7.X	Ж, Х	X.7
З, Ц	8.X	З, Ц	X.8
И, Ч	9.X	И, Ч	X.9
К, Ш	10.X	К, Ш	X.10
Л, Щ	11.X	Л, Щ	X.11
М, Э	12.X	М, Э	X.12
Н, Ю	13.X	Н, Ю	X.13
О, Я	14.X	О, Я	X.14

Таблица 2

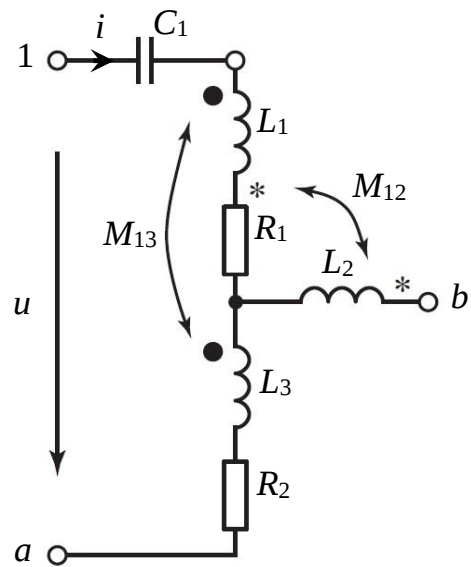
**Конфигурация расчетной электрической цепи с индуктивно
связанными элементами**

№ 1	№ 2
№ 3	№ 4

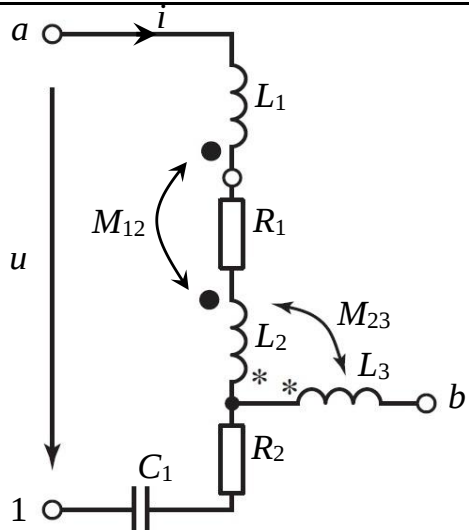
№ 5



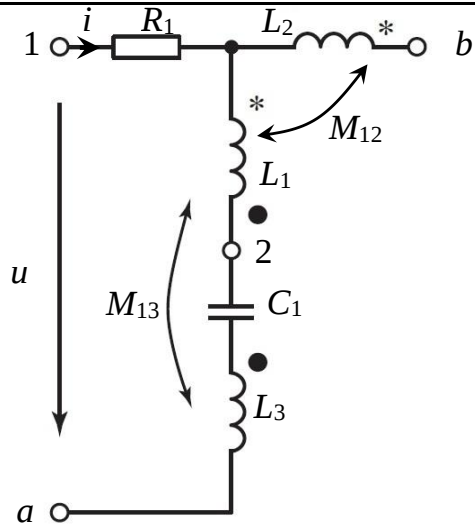
№ 6



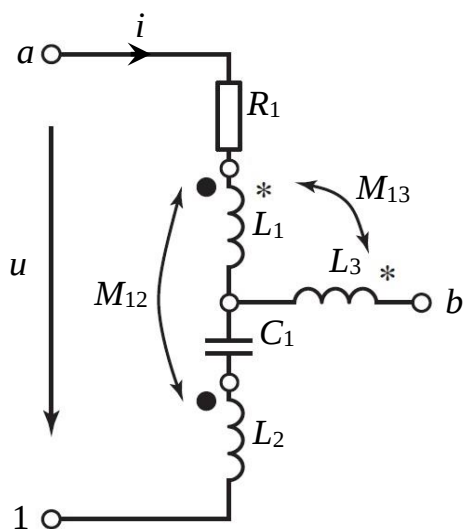
№ 7



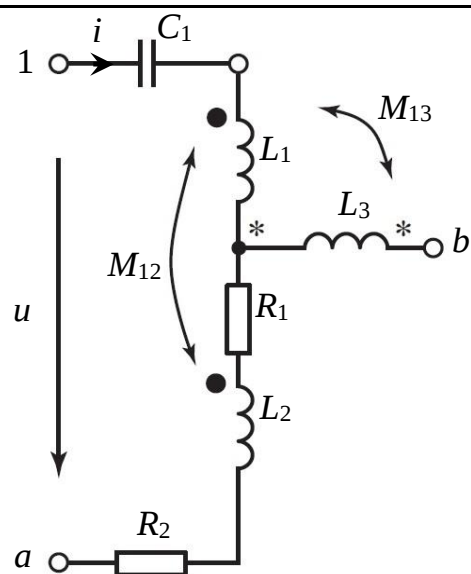
№ 8



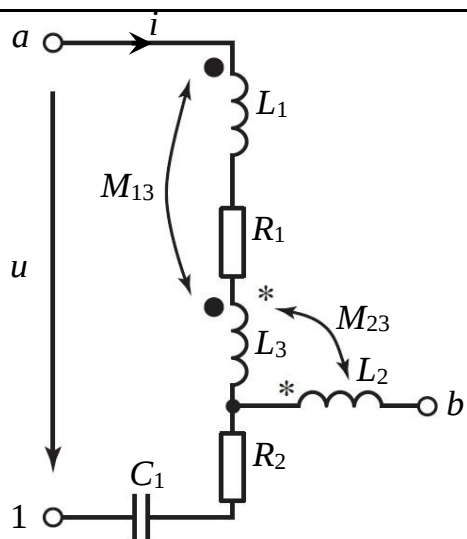
№ 9



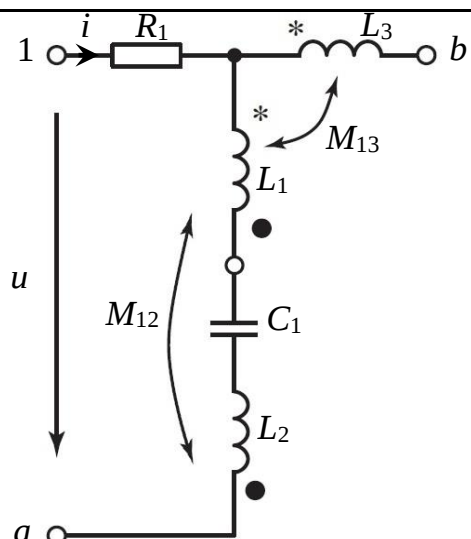
№ 10



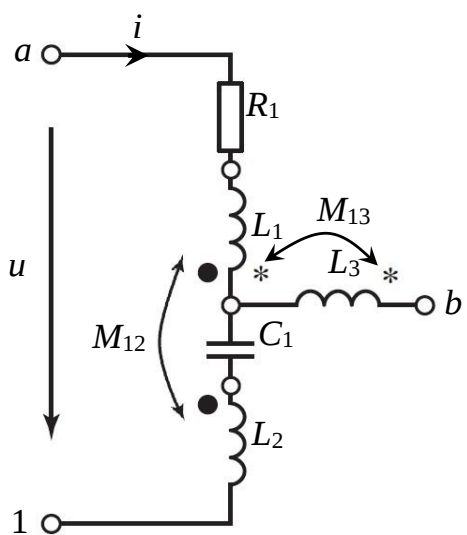
№ 11



№ 12



№ 13



№ 14

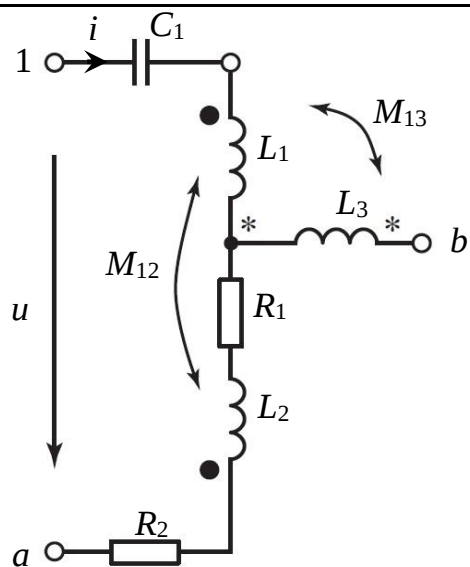


Таблица 3

**Параметры электрической цепи с индуктивно связанными
элементами**

№	R_1	R_2	C_1	L_1	L_2	L_3	M_{12}	M_{13}	M_{23}	ω	I
	Ом	Ом	мкФ	мГн	мГн	мГн	мГн	мГн	мГн	$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	А
1	60	25	80	200	600	550	250	200	350	200	1
2	80	35	60	550	500	300	300	350	200	250	1,5
3	35	20	70	400	500	300	350	250	300	300	2
4	70	40	50	250	350	450	200	300	250	350	2,5
5	50	15	30	200	400	300	150	150	200	400	3
6	60	35	40	350	250	100	200	250	250	450	3,5
7	40	50	20	200	300	400	150	300	200	500	4
8	85	30	100	550	400	250	320	300	220	200	4,5
9	55	40	70	200	500	400	220	180	320	250	3,5
10	100	10	90	300	200	450	260	320	280	300	3
11	65	20	60	150	400	350	320	180	320	350	2,5
12	70	30	50	350	400	150	250	200	350	400	2
13	75	10	6	450	300	100	350	250	200	450	1,5
14	45	25	35	200	500	250	300	150	300	500	1

Задание

1. Определите активное, реактивное и полное сопротивления расчетной электрической цепи с индуктивно связанными элементами относительно входных зажимов.
2. Определите мгновенное значение напряжения $u(t)$ на входных зажимах цепи с индуктивно связанными элементами.
3. Определите комплексное напряжение $\underline{U}_{ab}$ на участке электрической цепи с индуктивно связанными элементами в двух случаях: а) в режиме холостого хода; б) в рабочем режиме, когда сопротивление нагрузки $R_H = 150 \text{ Ом}$.
4. Найдите активную, реактивную и полную мощности в электрической цепи с индуктивно связанными элементами, а также реактивную мощность обмена.
5. Постройте временные зависимости напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$ по найденным законам изменения.

Рекомендации по выполнению задания 2

1. Необходимо ознакомиться с темой «Анализ электрических цепей с индуктивно связанными элементами».
2. Выполнить необходимые расчеты электрической цепи согласно варианту, используя образец выполнения.
3. Прислать подробное решение задания на проверку преподавателю.

Образец выполнения практического задания № 2

Запишем исходные данные расчетной электрической цепи синусоидального тока.

Параметры электрической цепи: $R_1 = 40 \text{ Ом}$, $R_2 = 60 \text{ Ом}$, $L_1 = 0,2 \text{ Гн}$, $L_2 = 0,6 \text{ Гн}$, $L_3 = 0,4 \text{ Гн}$, $M_{12} = 0,3 \text{ Гн}$, $M_{23} = 0,35 \text{ Гн}$, $C_1 = 20 \text{ мкФ}$, $\omega = 400 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ и ток в неразветвленной цепи равен $I = 2 \text{ А}$.

Конфигурация расчетной электрической цепи изображена на рис. 1.

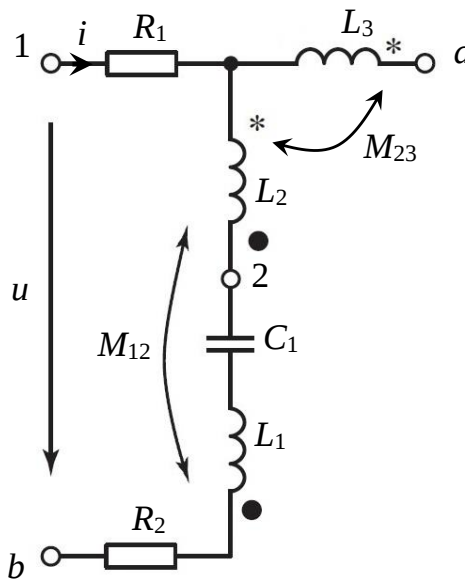


Рис. 1. Расчетная электрическая цепь

Решение

1. Определим сопротивления реактивных элементов, которые проявляют зависимость от частоты тока по формуле 1:

$$\begin{aligned}x_{L1} &= \omega \cdot L_1 = 400 \cdot 0,2 = 80 \text{ Ом}, \\x_{L2} &= \omega \cdot L_2 = 400 \cdot 0,6 = 240 \text{ Ом}, \\x_{L3} &= \omega \cdot L_3 = 400 \cdot 0,4 = 160 \text{ Ом}, \\x_{M12} &= \omega \cdot M_{12} = 400 \cdot 0,3 = 120 \text{ Ом}, \\x_{M23} &= \omega \cdot M_{23} = 400 \cdot 0,35 = 140 \text{ Ом} \\x_{C1} &= \frac{1}{\omega \cdot C_1} = \frac{10^6}{400 \cdot 20} = 125 \text{ Ом}.\end{aligned} \tag{1}$$

Ток, протекающий по электрической цепи с индуктивно связанными элементами L_1 и L_2 , которые соединены последовательно и имеют согласное включение. Данный тип включения получается в том случае, если ток втекает в одноименные зажимы индуктивностей L_1 и L_2 , которые обозначены

точками (рис. 1). Подобная ситуация может наблюдаться и с индуктивностями L_2 и L_3 , где одноименные зажимы обозначены звездочками. Для замкнутого участка цепи запишем выражение комплексного сопротивления с индуктивно связанными элементами (формула 2):

$$\begin{aligned}\underline{Z} &= R_1 + R_2 + j(x_{L1} + x_{L2} - x_{C1} + 2 \cdot x_{M12}) = \\ &= 40 + 60 + j(80 + 240 - 125 + 2 \cdot 120) = \\ &= 100 + j435 = 446,35 \cdot e^{j77,1^\circ} \text{ Ом.}\end{aligned}\quad (2)$$

Найдем активное, реактивное и полное сопротивления цепи с индуктивно связанными элементами (формула 3):

$$\begin{aligned}R &= \operatorname{Re}(\underline{Z}) = 100 \text{ Ом}, \\ x &= \operatorname{Im}(\underline{Z}) = 435 \text{ Ом}, \\ z &= \sqrt{R^2 + x^2} = \sqrt{100^2 + 435^2} = 446,35 \text{ Ом.}\end{aligned}\quad (3)$$

2. Найдем мгновенное напряжение на входных зажимах цепи синусоидального тока, воспользовавшись законом Ома в комплексной форме. Полагая, что начальная фаза комплексного тока $\underline{I}$ равна нулю, то комплекс входного напряжения $\underline{U}$ найдем по формуле 4:

$$\begin{aligned}\underline{U} &= \underline{Z} \cdot \underline{I} = 446,35 \cdot e^{j77,1^\circ} \cdot 2 = \\ &= 892,7 \cdot e^{j77,1^\circ} = 200 + j870 \text{ В.}\end{aligned}\quad (4)$$

По найденному комплексу напряжения запишем мгновенное значение напряжения по формуле 5:

$$\begin{aligned}u(t) &= \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega t + \psi_u) = \\ &= 1262 \cdot \sin(400t + 77,1^\circ) \text{ В.}\end{aligned}\quad (5)$$

3. Определим комплекс напряжения $\underline{U}_{ab}$ на участке электрической цепи между узловыми точка «a» и «b». Необходимо применить II закон Кирхгофа для выделенного контура, где указаны направления напряжений на участках цепи согласно условно принятому направлению тока. Как видно (рис. 2), количество напряжений в выделенном контуре равно восьми, которые все включены в уравнение (формула 6):

$$u_{ab} - u_{R2} - u_{L1} - u_{M12} - u_{C1} - u_{L2} - u_{M12} - u_{M23} = 0. \quad (6)$$

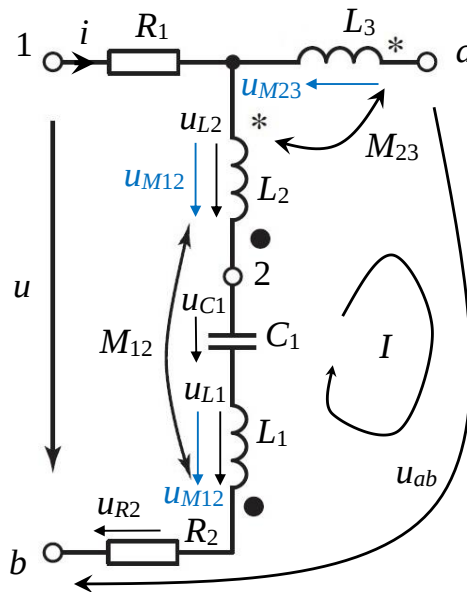


Рис. 2. Нахождение напряжения на участке электрической цепи

Используя записанное выше уравнение (формула 6), получим уравнение в комплексной форме, каждое из слагаемых которого распишем через комплекс тока $\underline{I}$ (формула 7):

$$\underline{U}_{ab} - R_2 \underline{I} - jx_{L1} \underline{I} - jx_{M12} \underline{I} + jx_{C1} \underline{I} - jx_{L2} \underline{I} - jx_{M12} \underline{I} - jx_{M23} \underline{I} = 0, \quad (7)$$

отсюда получим:

$$\underline{U}_{ab} = [R_2 + j(x_{L1} + x_{L2} - x_{C1} + 2 \cdot x_{M12} + x_{M23})] \cdot \underline{I}.$$

Подставим числовые значения в уравнение, разрешенное относительно комплексного напряжения $\underline{U}_{ab}$ (формула 8):

$$\underline{U}_{ab} = [60 + j(80 + 240 - 125 + 2 \cdot 120 + 140)] \cdot 2 = 120 + j1150 = 1156 \cdot e^{j84^\circ} \text{ В.} \quad (8)$$

4. Найдём значения активной, реактивной и полной мощностей расчетной электрической цепи с индуктивно связанными элементами (формула 9):

$$\begin{aligned} P &= I^2 \cdot (R_1 + R_2) = 2^2 \cdot (40 + 60) = 400 \text{ Вт,} \\ Q &= I^2 \cdot (x_{L1} + x_{L2} + 2 \cdot x_{M12} - x_{C1}) = \\ &= 2^2 \cdot (80 + 240 + 2 \cdot 120 - 125) = 1,74 \cdot 10^3 = 1,74 \text{ квар,} \\ S &= \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{166,7^2 + 71,1^2} = 181,2 \text{ В} \cdot \text{А.} \end{aligned} \quad (9)$$

Определим реактивную мощность обмена, являющуюся частью реактивной мощности, которую переносят индуктивно связанные элементы в электрической цепи, и находим следующим образом (формула 10):

$$\begin{aligned}\Delta Q &= \pm j2x_{Mij} \cdot \underline{I}_i \cdot \underline{I}_j \cdot \cos(\widehat{\underline{I}_i; \underline{I}_j}) = \\ &= +j2x_{M12} \cdot I^2 = 960 \text{ вар.}\end{aligned}\quad (10)$$

6. Построим временные зависимости напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$ по записанным законам изменения (формула 11):

$$\begin{aligned}u(t) &= 1262 \cdot \sin(400t + 77^\circ) \text{ В,} \\ i(t) &= 2,83 \cdot \sin(400t + 0^\circ) \text{ А.}\end{aligned}\quad (11)$$

Строим временные зависимости напряжения и тока (рис. 3).

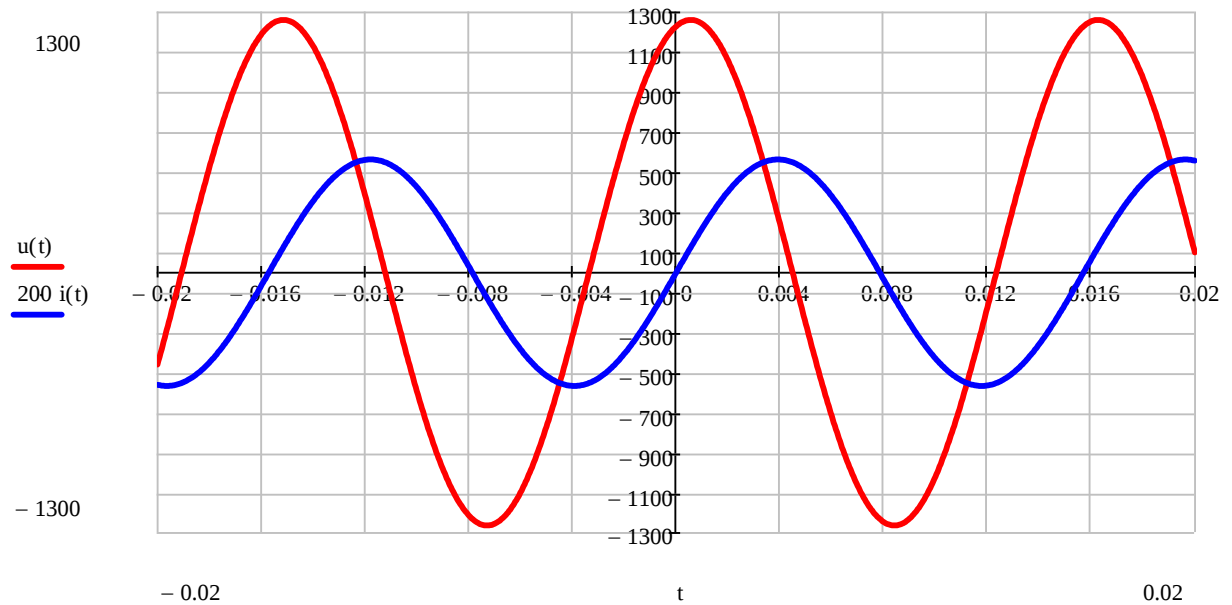


Рис. 3. Временные зависимости $u(t)$ и $i(t)$

Титульный лист практического задания

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(Наименование института)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(Наименование кафедры, центра, департамента)

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 2

по учебному курсу «Теоретические основы электротехники 1»

Вариант ____

Обучающегося

(И.О. Фамилия)

Группа

Преподаватель

(И.О. Фамилия)

Тольятти 20__