

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Цифровые технологии в электроэнергетике

(направленность (профиль) / специализация)

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 3

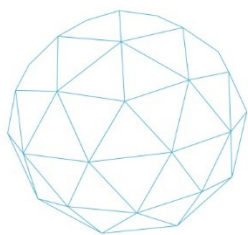
по учебному курсу «Теоретические основы электротехники 1»

Вариант 2.10

Обучающийся Д.В. Бодров
(И.О. Фамилия)

Группа ЭЭТб-2107а

Преподаватель С.В. Шлыков
(И.О. Фамилия)



Тольятти 2023



Росдистант

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

Задача №3 «Анализ электрических цепей с индуктивно связанными элементами»

В заданной, согласно варианту, расчетной электрической цепи необходимо:

1. Определить активное, реактивное и полное сопротивления расчетной электрической цепи с индуктивно- связанными элементами относительно входных зажимов.

2. Рассчитать мгновенное значение напряжения $u(t)$ на входных зажимах цепи с индуктивно-связанными элементами.

3. Определить комплексное напряжение U_{ab} на участке электрической цепи с индуктивно-связанными элементами.

4. Найти активную, реактивную и полную мощности в электрической цепи с индуктивно-связанными элементами, а также реактивную мощность обмена.

5. Построить временные зависимости напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$ по найденным законам изменения.

Задача №3

Исходные данные расчетной электрической цепи постоянного тока

Параметры электрической цепи: $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $C_1 = 90 \text{ мкФ}$,
 $L_1 = 300 \text{ мГн}$, $L_2 = 200 \text{ мГн}$, $L_3 = 450 \text{ мГн}$, $M_{12} = 260 \text{ мГн}$, $M_{13} = 320 \text{ мГн}$
 $\omega = 300 \text{ рад/с}$ и ток в неразветвленной цепи равен $I = 3 \text{ А}$.

Конфигурация расчетной электрической цепи изображена на рис. 1.

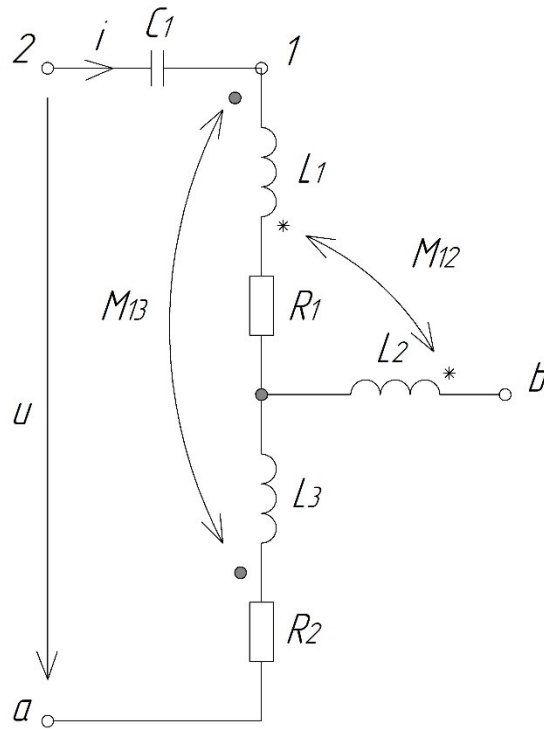


Рис. 1. Расчетная электрическая цепь

Решение

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

$$x_{L1} = \omega \cdot L_1 = 300 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 90 \text{ Ом} \quad (1)$$

$$x_{L2} = \omega \cdot L_2 = 300 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 60 \text{ Ом}$$

$$x_{L3} = \omega \cdot L_3 = 300 \cdot 450 \cdot 10^{-3} = 135 \text{ Ом}$$

$$x_{M12} = \omega \cdot M_{12} = 300 \cdot 260 \cdot 10^{-3} = 78 \text{ Ом}$$

$$x_{M13} = \omega \cdot M_{13} = 300 \cdot 320 \cdot 10^{-3} = 96 \text{ Ом}$$

$$x_{C2} = \frac{1}{C_1} = \frac{10^6}{30090} = 37,037 \text{ Ом.}$$

Ток, протекающий по электрической цепи с индуктивно связанными элементами L_1 и L_3 , которые соединены последовательно и имеют встречное включение. Данный тип включения получается в том случае, если ток втекает в разноимённые зажимы индуктивностей L_1 и L_3 , которые обозначены точками (рис. 1). Ситуация, когда ток протекает по элементам с одноимёнными зажимами, может наблюдаться с индуктивностями L_1 и L_2 , где одноименные зажимы обозначены звездочками. Для замкнутого участка цепи запишем выражение комплексного сопротивления с индуктивно связанными элементами (формула 2):

$$\begin{aligned} \underline{Z} &= R_1 + R_2 + j(x_{L1} + x_{L3} - x_{C1} - 2 \cdot x_{M13}) = \\ &= 100 + 10 + j(90 + 135 - 37,037 - 2 \cdot 96) = 110 - j4,037 \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (2)$$

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

$$\begin{aligned} R &= \text{Re}(\underline{Z}) = 110 \text{ Ом,} \\ x &= \text{Im}(\underline{Z}) = -4,037 \text{ Ом,} \\ z &= \sqrt{R^2 + x^2} = \sqrt{110^2 + (-4,037)^2} = 110,074 \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (3)$$

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

$$\underline{U} = \underline{I} \cdot \underline{Z} = 3 \cdot (110 - j4,037) = 250 \text{ В.} \quad (4)$$

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

$$\begin{aligned} \psi_U &= \arg(\underline{U}) = -0,04 \text{ рад,} \\ \underline{U} &= 330,222 \text{ В,} \\ u(t) &= \sqrt{2} \cdot \underline{U} \cdot \sin(\omega t + \psi_U) = \\ &= \sqrt{2} \cdot 330,222 \cdot \sin(300t - 0,04) \rightarrow 467,004 \cdot \sin(300t - 2,102^\circ) \text{ В.} \end{aligned} \quad (5)$$

3. Определим комплекс напряжения U_{ab} на участке электрической цепи между узлами 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 пяти, которые все включены в уравнение (формула 6):

$$U_{ab} + U_{R2} + U_{L3} - U_{M12} - U_{M13} = 0 \quad (6)$$

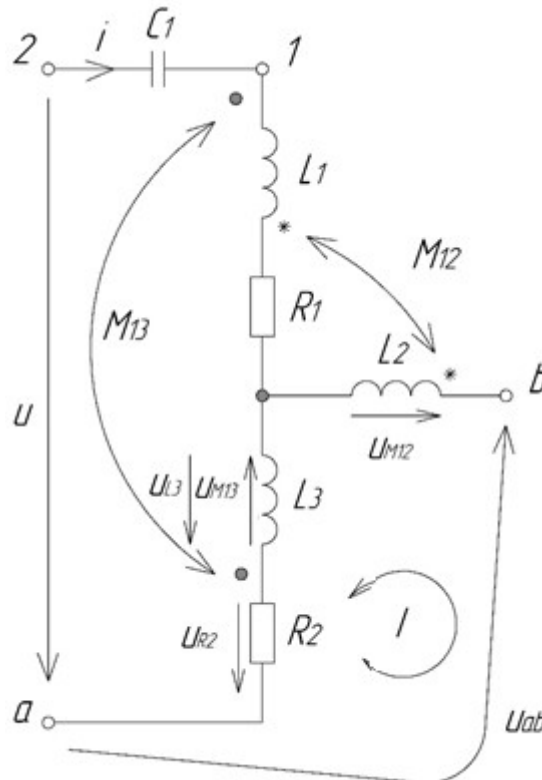


Рис. 2. Нахождение напряжения на участке электрической цепи

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

$$\underline{U}_{ab} + R_2 \cdot \underline{I} + jX_{L3} \cdot \underline{I} - jX_{M12} \cdot \underline{I} - jX_{M13} \cdot \underline{I} = 0$$

отсюда получим:

$$\underline{U}_{ab} = [-R_2 - j \cdot (X_{L3} - X_{M12} - X_{M13})] \cdot \underline{I}$$

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

$$\underline{U}_{ab} = [-10 - j \cdot (135 - 78 - 96)] \cdot 3 = -30 + j117 \text{ В.} \quad (8)$$

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

$$\begin{aligned}
 P &= I^2 \cdot (R_1 + R_2) = 3^2 \cdot (100 + 10) = 990 \text{ Вт}, \\
 Q &= I^2 \cdot (X_{L1} + X_{L3} - X_{C1} - 2 \cdot X_{M13}) = \\
 &= 3^2 \cdot (90 + 135 - 37,037 - 2 \cdot 96) = -36,333 \text{ вар}, \\
 S &= \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{990^2 + (-36,333)^2} = 990,666 \text{ В} \cdot \text{А}, \\
 \Delta Q &= -2 \cdot X_{M13} \cdot I^2 = -2 \cdot 96 \cdot 3^2 = -1,728 \text{ квар}.
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

5. Построим временные зависимости напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$ по записанным законам изменения (формула 10):

$$\begin{aligned}
 u(t) &= 467,004 \cdot \sin(300t - 2,102^\circ) \text{ В}, \\
 i(t) &= 3 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(300t) \text{ А}.
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

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

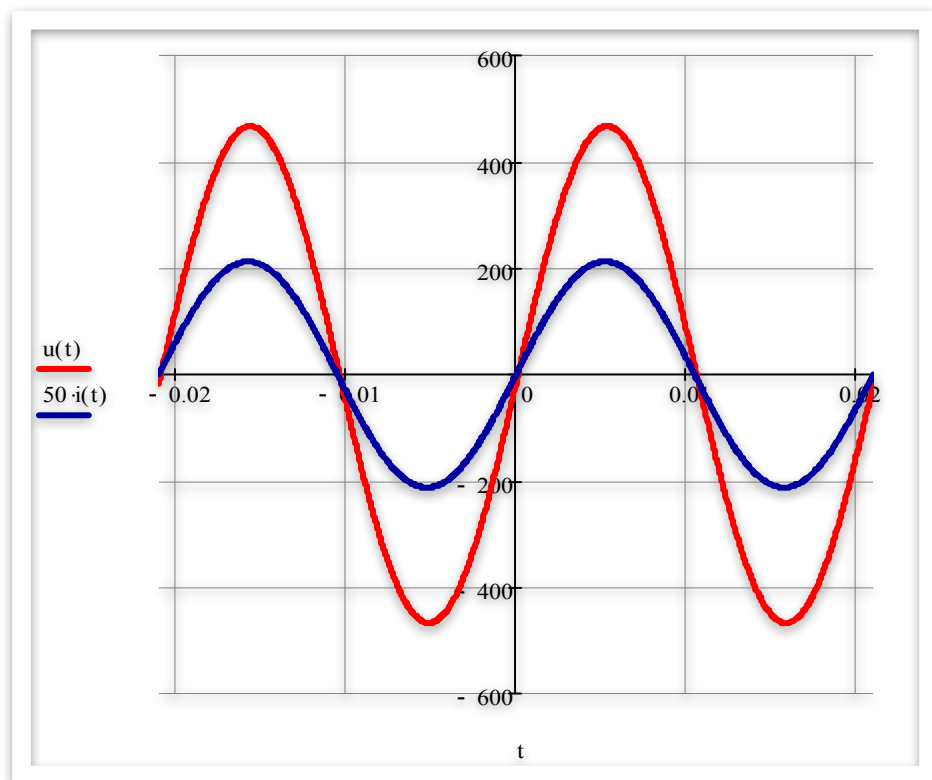


Рис. 3. Временные зависимости $u(t)$ и $i(t)$