



Федеральное агентство по рыболовству
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ
И. о. директора института

Фонд оценочных средств
(приложение к рабочей программе модуля)
«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»

основной профессиональной образовательной программы бакалавриата
по направлению подготовки

**15.03.04 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И
ПРОИЗВОДСТВ**

ИНСТИТУТ

цифровых технологий

РАЗРАБОТЧИК

кафедра энергетики

1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ, ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

1.1 Результаты освоения дисциплины

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенций

Код и наименование компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями
ОПК-1: Применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности	Электротехника	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – основные законы электротехники для электрических и магнитных цепей; – основные методы анализа электрических и магнитных цепей в установившемся и переходном режимах; – устройство, принцип действия и характеристики электрических машин и аппаратов. <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – качественно и количественно исследовать электрические и магнитные цепи; – определять параметры и характеристики электрических машин и аппаратов по паспортным данным и с помощью эксперимента; – использовать полученные при изучении дисциплины знания для успешного и мотивированного освоения образовательной программы высшего образования и в последующей работе. <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками расчета линейных электрических цепей постоянного и переменного токов, трехфазных цепей, четырехполюсников, фильтров, нелинейных электрических цепей, переходных процессов; – методами измерения основных параметров электротехнических устройств.

1.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания открытого и закрытого типов;
- задания к контрольной работе.

Промежуточная аттестация в форме экзамена проходит по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации относятся:

- экзаменационные задания по дисциплине, представленные в виде тестовых заданий закрытого и открытого типов.

1.3 Критерии оценки результатов освоения дисциплины

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок:

1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»;

2) 100 – балльную/процентную систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (табл. 2).

Таблица 2 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
1 Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может корректно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2 Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3 Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
			релевантные задаче данные	задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4 Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

2 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Компетенция ОПК-1: Применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.

Тестовые задания открытого типа

1. Сопротивление проводника зависит от _____

Ответ: удельного сопротивления, длины, площади поперечного сечения проводника, температуры.

2. Конденсатор обладает свойством накапливать на своих обкладках _____

Ответ: электрические заряды, равные по величине и противоположные по знаку.

3. Емкость конденсатора зависит от _____

Ответ: геометрических размеров, взаимного расположения и расстояния между обкладками, а также от свойств диэлектрика.

4. Взаимная индуктивность зависит от _____

Ответ: числа витков катушек, от их геометрических размеров, конфигурации, взаимного расположения и абсолютной магнитной проницаемости сердечника.

5. Согласно второму закону Кирхгофа, в замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна _____

Ответ: алгебраической сумме падений напряжений вдоль того же контура.

6. В цепях синусоидального тока сдвиг фаз между напряжением и током определяется как _____

Ответ: разность между начальной фазой напряжения и начальной фазой тока

$$\varphi = \psi_u - \psi_i.$$

7. Активная P , реактивная Q и полная S мощности цепи синусоидального тока связаны соотношением _____

Ответ: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$

8. В цепях синусоидального тока резонанс напряжений возникает при _____

Ответ: последовательном соединении катушки индуктивности и конденсатора и

равенстве их индуктивного и емкостного сопротивлений $\left(\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}\right).$

9. Если катушку с индуктивностью L и активным сопротивлением R , подключённую к источнику переменного тока с частотой f , подключить к источнику постоянного тока, то величина тока через неё _____

Ответ: увеличится.

10. Активную мощность P цепи синусоидального тока можно определить по формуле _____

Ответ: $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$

11. Обрыв нулевого провода в четырехпроводной трехфазной системе является аварийным, так как _____

Ответ: на одних фазах потребителя, соединенного «звездой», напряжение увеличится, на других уменьшится.

12. У трёхфазного генератора, обмотки которого соединены «звездой», действующее значение фазного напряжения равно 127 В, тогда линейное напряжение равно _____

Ответ: 220 В.

13. При соединении трёхфазного приёмника по схеме «звезда» - «треугольник» соотношения между фазными и линейными токами можно записать, применив первый закон Кирхгофа _____

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}$$

Ответ: $\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

14. Первичная обмотка однофазного трансформатора питается от сети с синусоидальным напряжением частотой 50 Гц. Тогда частота напряжения во вторичной обмотке будет _____

Ответ: 50 Гц.

15. Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения _____

Ответ: в переменный ток другого напряжения.

16. Потери мощности холостого хода трансформатора расходуются на _____

Ответ: нагрев стали.

17. Электрическая машина называется синхронной, если _____

Ответ: частота вращения поля статора совпадает с частотой вращения ротора.

18. Величина "скольжение" в асинхронном двигателе характеризует _____

Ответ: относительное отставание скорости вращения ротора от скорости вращения магнитного поля статора.

19. Электродвижущая сила обмоток якоря машины постоянного тока рассчитывается по формуле _____

Ответ: $E = c_E \cdot \Phi \cdot n$.

20. Вращающий момент двигателя постоянного тока рассчитывается по формуле _____

Ответ: $M = c_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}$

21. На электрических станциях в начале линии электропередачи устанавливают повышающие трансформаторы для _____

Ответ: уменьшения потерь энергии.

22. Распределительное устройство, предназначенное для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении без преобразования называется _____

Ответ: распределительным пунктом.

23. Общее сопротивление при параллельном соединении двух резисторов, если $R_1 = 60$ Ом, $R_2 = 30$ Ом, равно _____

Ответ: 20 Ом.

Тестовые задания закрытого типа

24. Эквивалентная (общая) емкость двух последовательно включенных конденсаторов $C_1 = C_2 = 0,7$ мкФ равна

1. 1,4 мкФ

3. 0,14 мкФ

2. 3,4 мкФ

4. 0,35 мкФ

25. Величина тока, который потечет по проводнику сопротивлением 0,5 кОм при приложенном напряжении 0,5 кВ, равна

1. 1,5 А.	3. 1,5 мА.
2. 10 А.	4. 1 А.

26. Через катушку, индуктивность которой L , протекает ток $i(t)$. Напряжение на катушке индуктивности равно	
1. $\frac{1}{\omega \cdot L} \cdot i(t)$	3. $L \cdot \frac{di(t)}{dt}$
2. $L \cdot \int i(t)dt$	4. $\omega \cdot L \cdot \frac{di(t)}{dt}$

27. Электрическая цепь содержит последовательно соединенные активное сопротивление и емкостное сопротивление, равное 30 Ом. Если на зажимах цепи напряжение 200 В, а ток в цепи 4 А, тогда активное сопротивление равно	
1. 20 Ом.	3. 40 Ом.
2. 50 Ом.	4. 13 Ом.

28. Число витков первичной обмотки трансформатора 800, а вторичной – 30. Если трансформатор подключен к сети переменного тока с напряжением 6000 В то напряжение холостого хода на вторичной обмотке равно	
1. 100 В.	3. 150 В.
2. 225 В.	4. 400 В.

29. Единицей измерения полной мощности в цепи синусоидального тока является	
1. Вт.	3. Дж.
2. Вар.	4. ВА.

30. Если скорость вращения поля статора синхронного двигателя 1500 об/мин, то скорость вращения ротора	
1. 2490 об/мин.	3. 1500 об/мин.
2. 1000 об/мин.	4. 3000 об/мин.

3 ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Учебным планом предусмотрено выполнение студентами контрольной работы.

Задание на контрольную работу включает пять задач из источника: Теоретические основы электротехники: Методические указания и контрольные задания для студентов технических специальностей высших учебных заведений / Л.А. Бессонов, И.Г. Демидова, М.Е. Заруди и др. – 2-е изд., перераб. – М., Высшая школа, 2001.

3.1 Задача 1.1. Линейные электрические цепи постоянного тока

Типовое задание задачи 1.1:

Для электрической схемы выполнить следующее:

1. Упростить схему, заменив последовательно и параллельно соединённые резисторы четвертой и шестой ветвей эквивалентными. Дальнейший расчёт вести для упрощённой схемы.
2. Составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для расчёта токов во всех ветвях схемы.
3. Определить токи во всех ветвях схемы методом контурных токов.
4. Составить баланс мощностей в исходной схеме, вычислив суммарную мощность источников и суммарную мощность нагрузок (сопротивлений).
5. Определить ток I_1 в заданной по условию схеме с источником тока, используя метод эквивалентного генератора.

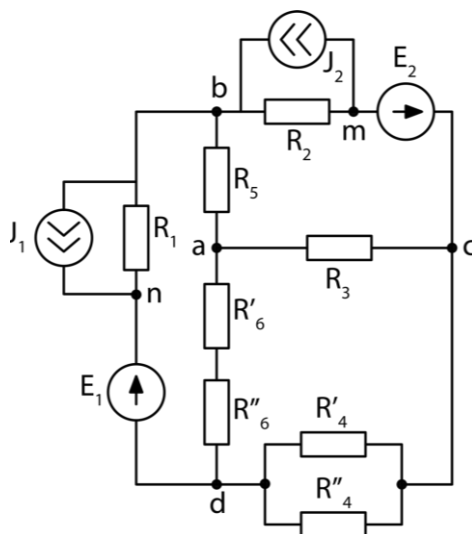


Рис. 1.1- Схема задания

Для упрощения схемы заменяем сопротивления четвертой и шестой ветвей эквивалентными и источники тока J_1 и J_2 – эквивалентными источниками ЭДС.

Резисторы R_4^{\wedge} и $R_4^{\wedge\wedge}$ включены параллельно

$$R_4 = \frac{R_4^{\wedge} \cdot R_4^{\wedge\wedge}}{R_4^{\wedge} + R_4^{\wedge\wedge}}$$

Резисторы R_6^{\wedge} и $R_6^{\wedge\wedge}$ включены последовательно

$$R_6 = R_6^{\wedge} + R_6^{\wedge\wedge}$$

Эквивалентные источники ЭДС

$$E_1^{\wedge} = J_1 \cdot R_1$$

$$E_2^{\wedge\wedge} = J_2 \cdot R_2$$

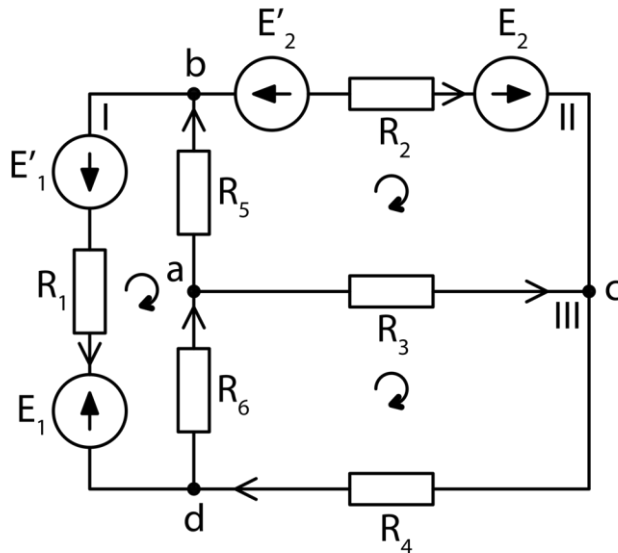


Рис. 1.2 - Упрощённая схема

В упрощённой схеме выбираем произвольно условно положительные направления токов каждой ветви и направления обхода контуров для составления уравнений по законам Кирхгофа.

Уравнения по первому закону Кирхгофа для узлов а, b и с:

$$\begin{aligned}
 -I_3 - I_5 + I_6 &= 0 \\
 -I_1 - I_2 + I_5 &= 0 \\
 I_2 + I_3 - I_4 &= 0
 \end{aligned}$$

Уравнения по второму закону Кирхгофа

$$\begin{aligned}
 -R_1 \cdot I_1 - R_5 \cdot I_5 - R_6 \cdot I_6 &= E_1 - E_1' \\
 R_2 \cdot I_2 - R_3 \cdot I_3 + R_5 \cdot I_5 &= E_2 - E_2' \\
 R_3 \cdot I_3 + R_4 \cdot I_4 + R_6 \cdot I_6 &= 0
 \end{aligned}$$

Определяем контурные токи. Ток I_{11} протекает по контуру, образованному резисторами R_1, R_6, R_5 ; ток $I_{22} - R_5, R_2, R_3$; ток $I_{33} - R_3, R_4, R_6$. Направления всех контурных токов выбираем по часовой стрелке (совпадающими с направлениями обходов контуров для второго закона Кирхгофа). Общее сопротивление, входящее в состав первого и второго контуров, - R_5 ; общее сопротивление, входящее в состав второго и третьего контуров, - R_3 ; общее сопротивление, входящее в состав первого и третьего контуров, - R_6 .

Составляем систему уравнений для контурных токов.

$$\begin{aligned} (R_1 + R_5 + R_6) \cdot I_{11} - R_5 \cdot I_{22} - R_6 \cdot I_{33} &= E_1 - E_1' \\ -R_5 \cdot I_{11} + (R_2 + R_5 + R_3) \cdot I_{22} - R_3 \cdot I_{33} &= E_2 - E_2' \\ -R_6 \cdot I_{11} - R_3 \cdot I_{22} + (R_3 + R_4 + R_6) \cdot I_{33} &= 0 \end{aligned}$$

Решая систему уравнений, находим контурные токи.

Определяем токи ветвей:

$$I_1 = -I_{11}; \quad I_2 = I_{22}; \quad I_3 = I_{33} - I_{22}; \quad I_4 = I_{33}; \quad I_5 = I_{22} - I_{11}; \quad I_6 = I_{33} - I_{11}.$$

Определяем ток первой ветви по методу эквивалентного генератора.

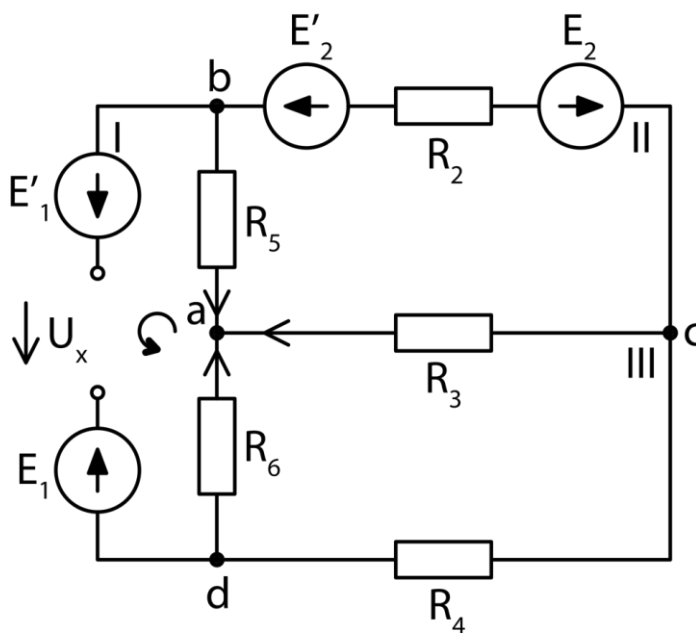


Рис. 1.3- Схема для определения напряжения холостого хода U_x

Находим напряжение холостого хода U_x .

Сначала определяем токи в ветвях схемы с помощью эквивалентных преобразований, так как в схеме осталась одна ветвь с источниками.

$$I_2' = \frac{E_2 - E_2'}{R_2 + R_5 + \frac{R_3 \cdot (R_6 + R_4)}{R_3 + R_6 + R_4}}$$

$$I_5' = -I_2'$$

$$I_6' = I_2' \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_6 + R_4}$$

Для определения U_X составляем уравнения по второму закону Кирхгофа.

$$U_X + R_6 \cdot I_6 - R_5 \cdot I_5 = E_1 - E_1 \quad 4$$

Напряжение холостого хода.

$$U_X = E_1 - E_1 - R_6 \cdot I_6 + R_5 \cdot I_5$$

Определяем входное сопротивление эквивалентного генератора.

Преобразуем «треугольник» с сопротивлениями R_3 , R_4 и R_6 в «звезду» с сопротивлениями R_{34} , R_{36} и R_{46} .

$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4 + R_6}$$

$$R_{36} = \frac{R_3 \cdot R_6}{R_3 + R_4 + R_6}$$

$$R_{46} = \frac{R_6 \cdot R_4}{R_3 + R_4 + R_6}$$

$$R_{\text{ex}} = R_{46} + \frac{(R_5 + R_{36}) \cdot (R_2 + R_{34})}{R_5 + R_{36} + R_2 + R_{34}}$$

Ток первой ветви

$$I_1 = \frac{U_X}{R_{\text{ex}} + R_1}$$

Составляем баланс мощностей:

Мощность, поставляемая источниками

$$P_{\text{ист}} = E_1 \cdot I_1 - E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 - E_2 \cdot I_2$$

Мощность нагрузки

$$P_{\text{наг}} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 + I_6^2 \cdot R_6$$

3.2 Задача 1.2. Линейные электрические цепи синусоидального тока

Типовое задание задачи 1.2:

Для электрической схемы, рис. 2.1 выполнить следующее:

1. На основании законов Кирхгофа составить в общем виде систему уравнений для расчета токов во всех ветвях цепи, записав её в двух формах:
 - а) дифференциальной;
 - б) символической.
2. Определить комплексы действующих значений токов во всех ветвях, воспользовавшись одним из методов расчета линейных электрических цепей.

3. Используя данные расчетов записать выражение для мгновенного значения тока $i_1(t)$.
4. Построить топографическую диаграмму напряжений для какого-либо замкнутого контура, совмещенную с диаграммой этого контура.

$$\begin{aligned}
 L_2 &= 6.8 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \\
 C_2 &= 0.91 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \\
 C_3 &= 0.45 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \\
 R_1 &= 100 \text{ Ом} \\
 f &= 3500 \text{ Гц}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_1 &= 30 \sin(\omega t - 270^\circ) \text{ В} \\
 e_1 &= 139 \cos(\omega t) \text{ В} \\
 e_2 &= 169 \cos(\omega t - 180^\circ) \text{ В} \\
 e_3 &= 169 \sin(\omega t) \text{ В}
 \end{aligned}$$

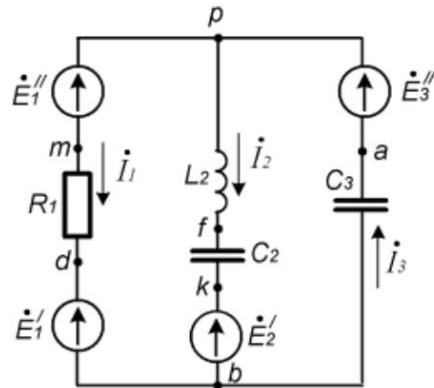


Рис. 2.1- Схема задания

Законы Кирхгофа:

а) дифференциальная форма

$$\begin{cases}
 i_1 + i_2 - i_3 = 0 \\
 L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{C_2} \cdot \int i_2 dt - R_1 \cdot i_1 = e_1 + e_1 - e_2 \\
 L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{C_2} \cdot \int i_2 dt + \frac{1}{C_3} \cdot \int i_3 dt = e_3 - e_2
 \end{cases}$$

б) символическая форма

$$\begin{cases}
 \dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0 \\
 j \cdot X_{L_2} \cdot \dot{I}_2 - j \cdot X_{C_2} \cdot \dot{I}_2 - R_1 \cdot \dot{I}_1 = \dot{E}_1 + \dot{E}_1 - \dot{E}_2 \\
 j \cdot X_{L_2} \cdot \dot{I}_2 - j \cdot X_{C_2} \cdot \dot{I}_2 - j \cdot X_{C_3} \cdot \dot{I}_3 = \dot{E}_3 - \dot{E}_2
 \end{cases}$$

Расчет цепи синусоидального тока проведем с помощью законов Кирхгофа символическим методом. То есть от мгновенных значений токов и ЭДС перейдем к их комплексам действующих значений. Перед началом расчёта определим индуктивное и емкостные сопротивления.

Индуктивное

$$X_{L_2} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_2 = 149,53981$$

Емкостные

$$X_{C_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_2} = 49,970155$$

$$X_{C_3} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_3} = 101,050757$$

Комплексы действующих значений ЭДС и токов

$$E'_1 := \frac{30}{\sqrt{2}} \cdot e^{-i270\text{deg}} = -0.010365 + 21.213201i$$

$$E''_1 := e^{i90\text{deg}} \cdot \frac{139}{\sqrt{2}} = 0.016008 + 98.287841i$$

$$E'_2 := e^{-i180\text{deg}} \cdot \frac{169}{\sqrt{2}} = -119.50104 - 0.038926i$$

$$E''_3 := e^{i0\text{deg}} \cdot \frac{169}{\sqrt{2}} = 119.501046$$

$$\begin{pmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \end{pmatrix} := \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 \\ -R_1 & (XL2 - XC2) \cdot i & 0 \\ 0 & (XL2 - XC2) \cdot i & -i \cdot XC3 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ E'_1 + E''_1 - E'_2 \\ E''_3 - E'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.053046 + 2.38198i \\ 3.592841 - 1.146957i \\ 3.539795 + 1.235022i \end{pmatrix}$$

$$I1 + I2 - I3 = 0$$

Как видно, для найденных токов выполняется первый закон Кирхгофа, что является подтверждением правильности расчетов.

Запишем комплекс действующего значения тока первой ветви в показательном виде и перейдём к его мгновенному значению, то есть запишем его в виде функции времени.

$$\dot{I}_1 = -0,053 + j \cdot 2,382 = 2,383 \cdot e^{j180^\circ}$$

$$i_1(t) = \sqrt{2} \cdot 2,383 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 3500 \cdot t + 180^\circ)$$

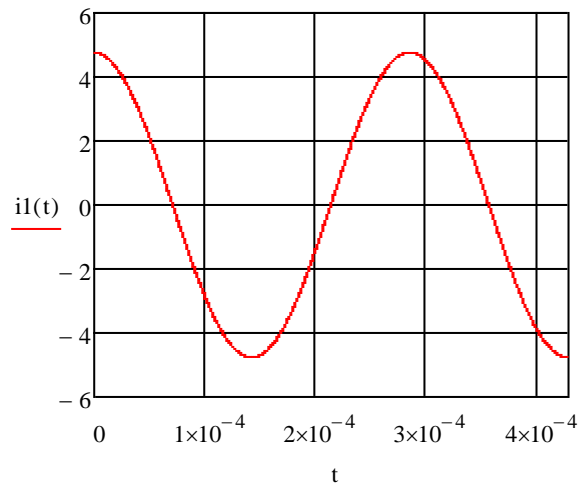


Рис. 2.2 - График мгновенного значения тока первой ветви

Топографическую диаграмму напряжений, совмещённую с векторной диаграммой токов, построим для контура с первой и третьей ветвями. Будем считать, что потенциал точки а равен 0, и обходить контур против часовой стрелки.

$$\varphi_a := 0$$

$$\varphi_p := \varphi_a + E''_3 = 119.501046$$

$$\varphi_m := \varphi_p - E''_1 = 119.485038 - 98.287841i$$

$$\varphi_d := \varphi_m - I_1 \cdot R_1 = 124.78959 - 336.485805i$$

$$\varphi_b := \varphi_d - E'_1 = 124.799954 - 357.699005i$$

$$\varphi_a := \varphi_b - (-i \cdot X_{C3} \cdot I_3) = -1.421085 \times 10^{-14}$$

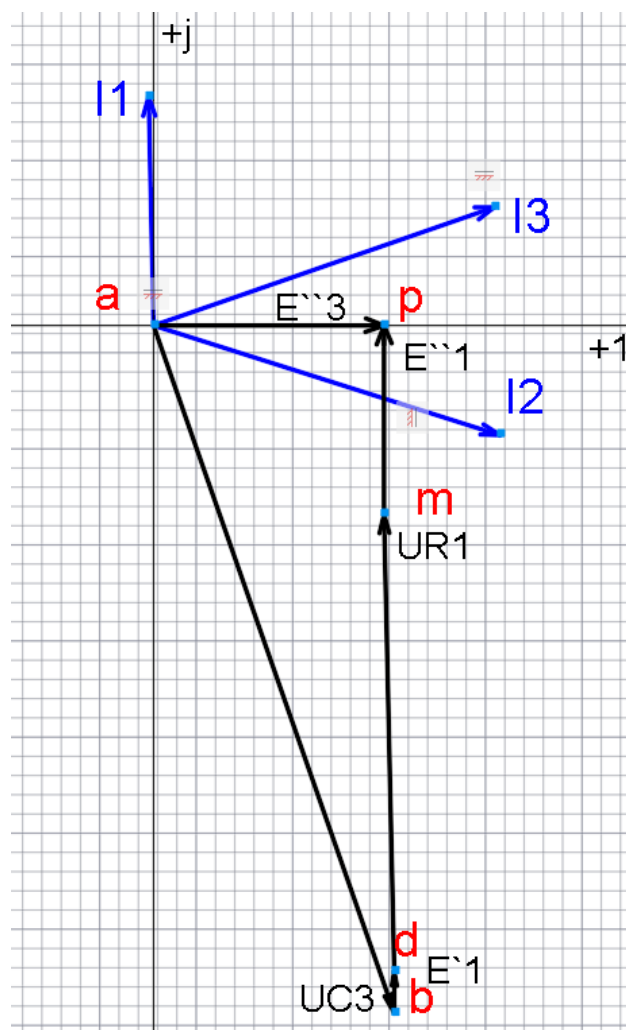


Рис. 2.3 - Векторная диаграмма

С помощью векторной диаграммы убедились в правильности расчета, так как падение на резисторе R_1 совпадает по фазе с током первой ветви I_1 , а падение напряжения на ёмкости C_3 отстаёт от тока третьей ветви I_3 на 90° .

3.3 Задача 2.2. Трёхфазные цепи

Типовое задание задачи 2.2:

На рис.3.1 приведена схема трёхфазной цепи. В ней имеется трёхфазный генератор (создающий трёхфазную симметричную систему ЭДС) и симметричная нагрузка. Действующее значение ЭДС фазы генератора E_A , период T , параметры R_1 , L и C_1 даны. Начальную фазу ЭДС E_A принять нулевой. Требуется: рассчитать токи, построить векторную диаграмму токов и напряжений, определить мгновенное значение напряжения между заданными точками и подсчитать активную мощность трёхфазной системы.

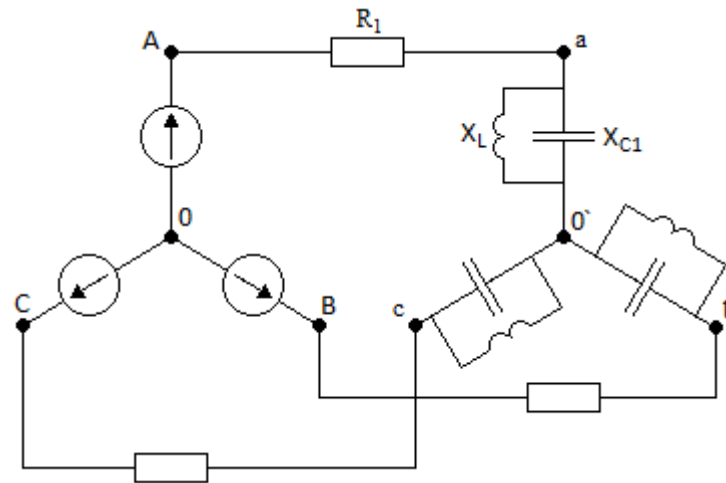


Рис. 3.1- Схема задания

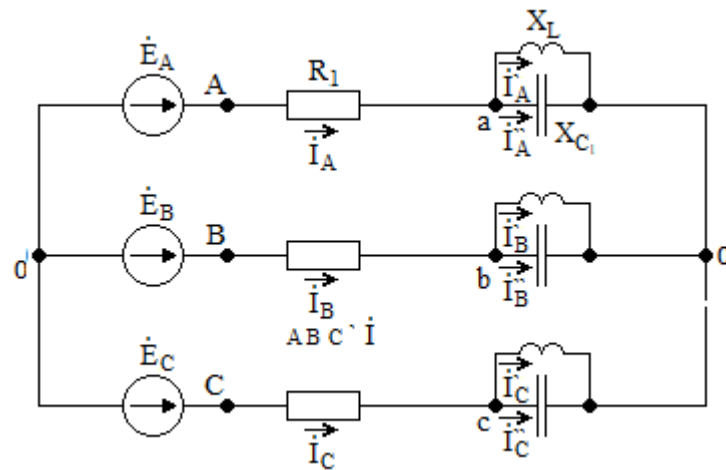


Рис. 3.2 - Преобразованная схема задания

Дано:

$$E_A = 60 \text{ [В]}$$

$$T = 0,015 \text{ [с]}$$

$$L = 28,92 \text{ [мГн]} = 2,892 \cdot 10^{-2} \text{ [Гн]}$$

$$C_1 = 478,5 \text{ [мкФ]} = 4,785 \cdot 10^{-4} \text{ [Ф]}$$

$$R_1 = 17,32 \text{ [Ом]}$$

$$u_{bc} = ?$$

Расчет токов:

Комплексные действующие значения ЭДС генератора равны:

$$\dot{E}_A = \dot{E}_A = 60 \text{ [В]}$$

$$\dot{E}_B = \dot{E}_A e^{-120i^\circ} = -30 - 51,962i \text{ [В]}$$

$$\dot{E}_C = \dot{E}_A e^{120i^\circ} = -30 + 51,962i \text{ [В]}$$

Угловая частота:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 418,879 \left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$$

Сопротивления реактивных элементов:

$$X_L = \omega L = 12,114 \text{ [Ом]}$$

$$X_{C_1} = \frac{1}{\omega C_1} = 4,989 \text{ [Ом]}$$

Сопротивление линейного провода:

$$Z_{\text{л}} = R_1 = 17,32 \text{ [Ом]}$$

Фазное сопротивление:

$$Z_{\Phi} = \frac{-iX_{C_1} * iX_L}{-iX_{C_1} + iX_L} = -8,483i \text{ [Ом]}$$

Так как линейные и фазные сопротивления всех фаз одинаковые, то линейные токи:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A}{Z_{\text{л}} + Z_{\Phi}} = 2,794 + 1,368i \text{ [A]} = 3,111e^{26,094i^\circ} \text{ [A]}$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{E}_B}{Z_{\text{л}} + Z_{\Phi}} = -0,212 - 3,104i \text{ [A]} = 3,111e^{-93,906i^\circ} \text{ [A]}$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{E}_C}{Z_{\text{л}} + Z_{\Phi}} = -2,582 + 1,735i \text{ [A]} = 3,111e^{146,094i^\circ} \text{ [A]}$$

Проверка значений по первому закону Кирхгофа: $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ – верно.

Фазные токи:

$$\dot{i}'_A = \dot{I}_A \frac{-iX_{C_1}}{iX_L - iX_{C_1}} = -1,957 - 0,958i \text{ [A]}$$

$$\dot{i}''_A = \dot{I}_A \frac{iX_L}{iX_L - iX_{C_1}} = 4,75 + 2,327i \text{ [A]}$$

$$\dot{i}'_B = \dot{I}_B \frac{-iX_{C_1}}{iX_L - iX_{C_1}} = 0,148 + 2,174i \text{ [A]}$$

$$\dot{i}''_B = \dot{I}_B \frac{iX_L}{iX_L - iX_{C_1}} = -0,36 - 5,277i \text{ [A]}$$

$$\dot{i}'_C = \dot{I}_C \frac{-iX_{C_1}}{iX_L - iX_{C_1}} = 1,808 - 1,215i \text{ [A]}$$

$$\dot{i}''_C = \dot{I}_C \frac{iX_L}{iX_L - iX_{C_1}} = -4,39 + 2,951i \text{ [A]}$$

Потенциалы точек:

$$\varphi_0 = 0 \text{ [В]}$$

$$\varphi_A = \varphi_0 + \dot{E}_A = 60 \text{ [В]}$$

$$\varphi_B = \varphi_0 + \dot{E}_B = -30 - 51,962i \text{ [В]}$$

$$\varphi_C = \varphi_0 + \dot{E}_C = -30 + 51,962i \text{ [В]}$$

$$\varphi_a = \varphi_A - \dot{I}_A Z_{\text{л}} = 11,608 - 23,701i \text{ [В]}$$

$$\varphi_b = \varphi_B - \dot{I}_B Z_{\text{л}} = -26,33 + 1,798i \text{ [В]}$$

$$\varphi_c = \varphi_C - \dot{I}_C Z_{\text{л}} = 14,722 + 21,904i \text{ [В]}$$

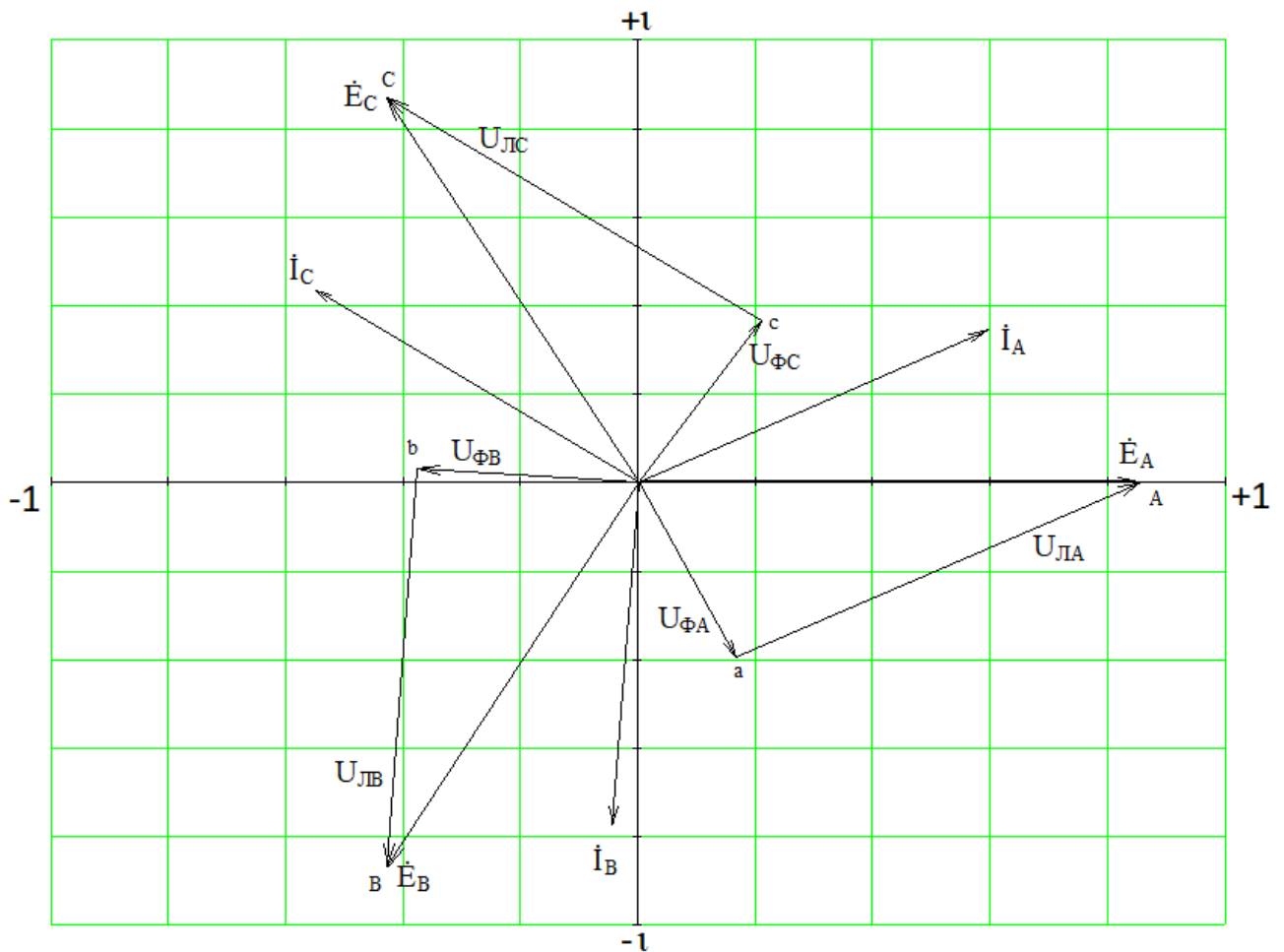


Рис. 3.3 – Топографическая диаграмма напряжений и векторная диаграмма токов

Мгновенное значение напряжения между точками b и c:

$$\dot{U}_{bc} = \varphi_b - \varphi_c = -41,051 - 20,106 \cdot i = 45,71 \cdot e^{-i \cdot 153,9^\circ}$$

$$u_{bc}(t) = \sqrt{2} \cdot 45,71 \cdot \sin(\omega \cdot t - 153,9^\circ)$$

Мощность трехфазной системы:

$$P_A = \text{Re}(\dot{E}_A * \dot{I}_A) = 167,639 \text{ [Вт]}$$

$$P = 3P_A = 502,917 \text{ [Вт]}$$

3.4 Задача 2.3. Периодические несинусоидальные токи

Типовое задание задачи 2.3:

На рис. 4.1 дана схема, на вход которой воздействует периодическое напряжение $u_1(t)$ (график напряжения приведен на рис. 4.2). Схема нагружена на активное сопротивление нагрузки R_n . Численные значения напряжения U_m , периода T , параметров схемы L , C и величина активного сопротивления нагрузки R_n даны.

Требуется:

1. Разложить напряжение $u_1(t)$ в ряд Фурье до 5-й гармоники включительно, используя табличные разложения, приведенные в учебниках, и пояснения, которые даны в указаниях к данной задаче.

2. Обозначив сопротивления элементов схемы в общем виде как R_H , iX_L и $-iX_C$, вывести формулу для передаточной функции $K(i\omega)$ четырехполосника (рис. 4.1) $K(i\omega) = \frac{\dot{U}_2(i\omega)}{\dot{U}_1(i\omega)} = |K(i\omega)|e^{i\varphi(\omega)}$. Полученное выражение пригодно для каждой гармоники, только под iX_L и $-iX_C$ следует понимать сопротивления для соответствующей гармоники.
3. Используя формулу п. 2, определить комплексную амплитуду напряжения на выходе (на нагрузке) для следующих гармоник ряда Фурье: для 0-й, 1-й и 3-й гармоник.
4. Записать мгновенное значение напряжения на нагрузке в виде ряда Фурье.

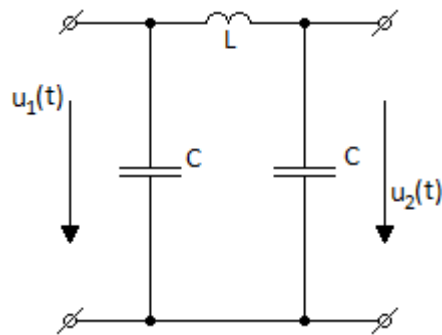


Рис.4.1 – Схема задания

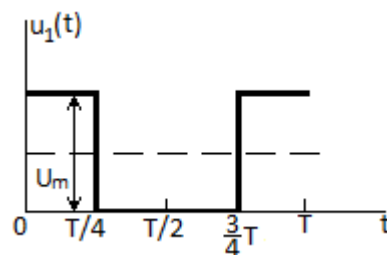


Рис. 4.2 – График входного напряжения

Дано:

$$L = 0,5 \text{ [мГн]} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ [Гн]}$$

$$C = 0,4 \text{ [мкФ]} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ [Ф]}$$

$$T = 0,167 \text{ [мс]} = 1,67 \cdot 10^{-4} \text{ [с]}$$

$$U_m = 110 \text{ [В]}$$

$$R_H = 27 \text{ [Ом]}$$

Используя табличное разложение, приведенное в учебниках, и пояснения, которые даны в указаниях к данной задаче, разложено напряжение $u_1(t)$ в ряд Фурье до 5-й гармоники включительно.

$$f(\omega t) = \frac{4a_m}{\pi} \left(\sin\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right)$$

$$u_1(t) = \frac{U_m}{2} + \frac{4U_m}{2\pi} \left(\sin\omega \left(t + \frac{T}{4} \right) + \frac{1}{3} \sin 3\omega \left(t + \frac{T}{4} \right) + \frac{1}{5} \sin 5\omega \left(t + \frac{T}{4} \right) \right) \text{ [В]}$$

$$u_1(t) = \frac{110}{2} + \frac{4}{\pi} \frac{110}{2} \left(\sin(\omega t + 90^\circ) + \frac{\sin(3\omega t - 90^\circ)}{3} + \frac{\sin(5\omega t + 90^\circ)}{5} \right) \text{ [В]}$$

$$u_1(t) = 55 + 70,028\sin(\omega t + 90^\circ) + 23,343\sin(3\omega t - 90^\circ) + 14,006\sin(5\omega t + 90^\circ) \text{ [В]}$$

$$\text{где } \omega = \frac{2\pi}{T} = 37623,864 \left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$$

Обозначив сопротивления элементов схемы в общем виде как R_H , iX_L и $-iX_C$, вывести формулу для передаточной функции $K(i\omega)$ четырехполюсника (рис. 4.1)

$$K(i\omega) = \frac{\dot{U}_2(i\omega)}{\dot{U}_1(i\omega)} = |K(i\omega)|e^{i\varphi(\omega)}$$

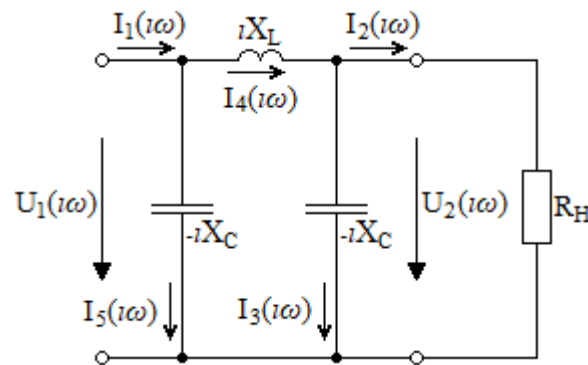


Рис. 4.3 – Схема нагруженного фильтра

По закону Ома:

$$U_2(i\omega) = R_H I_2(i\omega) = -iX_C I_3(i\omega)$$

$$I_2(i\omega) = \frac{U_2(i\omega)}{R_H}$$

$$I_3(i\omega) = \frac{U_2(i\omega)}{-iX_C}$$

По первому закону Кирхгофа:

$$I_4(i\omega) = I_2(i\omega) + I_3(i\omega) = \frac{U_2(i\omega)}{R_H} + \frac{U_2(i\omega)}{-iX_C} = \left(\frac{1}{R_H} + \frac{1}{-iX_C} \right) U_2(i\omega) = \frac{R_H - iX_C}{-iX_C R_H} U_2(i\omega)$$

По закону Ома:

$$U_4(i\omega) = iX_L I_4(i\omega) = iX_L \frac{R_H - iX_C}{-iX_C R_H} U_2(i\omega) = \frac{X_L (R_H - iX_C)}{-X_C R_H} U_2(i\omega)$$

По второму закону Кирхгофа:

$$\begin{aligned} U_1(i\omega) &= U_4(i\omega) + U_2(i\omega) = \frac{X_L (R_H - iX_C)}{-X_C R_H} U_2(i\omega) + U_2(i\omega) = \left[\frac{X_L (R_H - iX_C)}{-X_C R_H} + 1 \right] U_2(i\omega) = \\ &= \frac{X_C R_H - X_L (R_H - iX_C)}{X_C R_H} U_2(i\omega) = \frac{R_H (X_C - X_L) + iX_L X_C}{X_C R_H} U_2(i\omega) \end{aligned}$$

Тогда:

$$K_u = K(i\omega) = \frac{U_2(i\omega)}{U_1(i\omega)} = \frac{U_2(i\omega)}{\frac{R_H(X_C - X_L) + iX_L X_C}{X_C R_H} U_2(i\omega)} = \frac{X_C R_H}{R_H(X_C - X_L) + iX_L X_C}$$

Используя формулу п. 2, определяем комплексные амплитуды напряжения на выходе (на нагрузке) для 0-й, 1-й и 3-й гармоник ряда Фурье.

Расчет постоянной составляющей (0-я гармоника):

Так как для 0-й гармоники $X_C = \infty$ и $X_L = 0$, то $K_U = 1$.

$$U_2^{(0)}(t) = U_1^{(0)}(t) = \frac{U_m}{2} = 55 \text{ [В]}$$

Расчет по 1-й гармонике:

$$u_1^{(1)}(t) = 70,028 \cdot \sin(\omega \cdot t + 90^\circ)$$

$$\dot{U}_1^{(1)} = 70,028 e^{i90^\circ} = i70,028 \text{ [В]}$$

$$X_{C_1} = \frac{T}{2\pi C} = 66,447 \text{ [Ом]}$$

$$X_{L_1} = \frac{2\pi L}{T} = 18,812 \text{ [Ом]}$$

$$K_u^{(1)} = \frac{X_C R_H}{R_H(X_C - X_L) + iX_L X_C} = 0,717 - 0,697i$$

$$\dot{U}_2^{(1)} = K_u^{(1)} * \dot{U}_1^{(1)} = 48,822 + 50,234i = 70,05 e^{i46^\circ} \text{ [В]}$$

$$u_2^{(1)}(t) = 70,05 \cdot \sin(\omega \cdot t + 46^\circ)$$

Расчет по 3-й гармонике:

$$u_1^{(3)}(t) = 23,343 \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t - 90^\circ)$$

$$\dot{U}_1^{(3)} = 23,343 e^{-i90^\circ} = -i23,343 \text{ [В]}$$

$$X_{C_3} = \frac{T}{3(2\pi C)} = 22,149 \text{ [Ом]}$$

$$X_{L_3} = \frac{3(2\pi L)}{T} = 56,436 \text{ [Ом]}$$

$$K_u^{(3)} = \frac{X_C R_H}{R_H(X_C - X_L) + iX_L X_C} = -0,229 - 0,309i$$

$$\dot{U}_2^{(3)} = K_u^{(3)} * \dot{U}_1^{(3)} = -7,212 + 5,341i = 8,975 e^{i143^\circ} \text{ [В]}$$

$$u_2^{(3)}(t) = 8,975 \cdot \sin(\omega \cdot t + 143^\circ)$$

Мгновенное значение напряжения на нагрузке в виде ряда Фурье:

$$u_2(t) = U_2^{(0)} + u_2^{(1)}(t) + u_2^{(3)}(t)$$

$$u_2(t) = 55 + 70,05 \cdot \sin(\omega \cdot t + 46^\circ) + 8,975 \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t + 143^\circ)$$

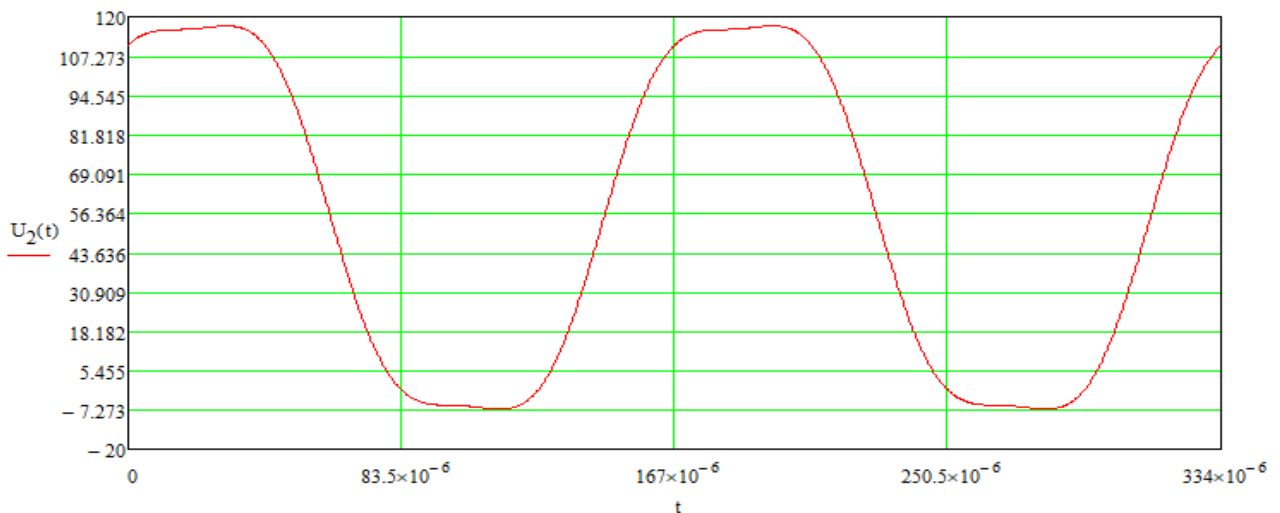


Рис. 4.4 – График выходного напряжения

3.5 Задача 3.1. Переходные процессы в линейных электрических цепях

Типовое задание задачи 3.1:

Дана электрическая цепь, в которой происходит коммутация (рис. 5.1). В цепи действует постоянная ЭДС E . Параметры цепи даны. Рассмотреть переходный процесс в цепи второго порядка, когда $L_2=0$, т.е. участок $a - b$ схемы замкнут, и когда C_2 разомкнута. При вычерчивании схемы элементы L_2 и C_2 должны отсутствовать. Определить i_3 .

Задачу следует решать классическим методом. На основании полученного аналитического выражения требуется построить график изменения i_3 в функции времени в интервале от $t=0$ до $t=3/|p|_{\min}$, где $|p|_{\min}$ – меньший по модулю корень характеристического уравнения.

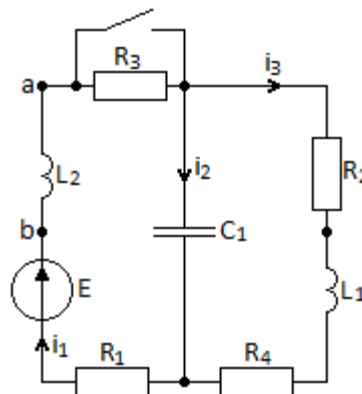


Рис. 5.1 – Схема задания

Дано:

$$E = 200 \text{ [В]}$$

$$L_1 = 1 \text{ [мГн]} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ [Гн]}$$

$$C_1 = 10 \text{ [мкФ]} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ [Ф]}$$

$$R_1 = 10 \text{ [Ом]}$$

$$R_2 = 10 \text{ [Ом]}$$

$$R_3 = 50 \text{ [Ом]}$$

$$R_4 = 30 \text{ [Ом]}$$

Определение независимых начальных условий:

$$E = const \rightarrow \omega = 0 \rightarrow X_C = \frac{1}{\omega C_1} = \infty \rightarrow i_2(0-) = 0 \text{ [A]}; X_L = 0$$

$$i_3(0-) = i_1(0-) = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 2 \text{ [A]}$$

$$u_C(0-) = i_3(0-) * (R_2 + R_4) = 80 \text{ [B]}$$

Определение принужденной составляющей:

$$i_{2пр} = 0$$

$$i_{3пр} = i_{1пр} = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_4} = 4 \text{ [A]}$$

$$u_{Cпр} = i_{3пр} * (R_2 + R_4) = 160 \text{ [B]}$$

Свободная составляющая. Характеристическое уравнение:

$$R = R_2 + R_4 = 40 \text{ [Ом]}$$

$$Z_{вх} = \frac{(\omega L_1 + R) * \frac{1}{\omega C_1}}{\omega L_1 + R + \frac{1}{\omega C_1}} + R_1$$

Замена: $\omega = p$

$$Z_{вх}(p) = \frac{(pL_1 + R) * \frac{1}{pC_1}}{pL_1 + R + \frac{1}{pC_1}} + R_1$$

Приравниваем $Z_{вх}(p) = 0$ и находим корни уравнения:

$$Z_{вх}(p) = \frac{(pL_1 + R) * \frac{1}{pC_1}}{pL_1 + R + \frac{1}{pC_1}} + R_1 = 0 \rightarrow Z_{вх}(p) = p^2 L_1 C_1 R_1 + p(L_1 + C_1 R R_1) + R + R_1 = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow Z_{вх}(p) = 1 * 10^{-5} p^2 + 5 * 10^{-3} p + 50 = 0$$

Корни квадратного уравнения:

$$p_{1,2} = \frac{-5 * 10^{-3} \mp \sqrt{5 * 10^{-6}}}{2 * 10^{-7}}$$

$$p_1 = -13819,66 \text{ [с}^{-1}\text{]}$$

$$p_2 = -36180,34 \text{ [с}^{-1}\text{]}$$

Получилось два действительных корня, не равных между собой, поэтому:

$$i_{св} = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}$$

$$i_{3св}(t) = A_1 e^{-13819,66t} + A_2 e^{-36180,34t}$$

Дифференцирование уравнения по времени:

$$\frac{di_{3св}}{dt}(t) = -13819,66 A_1 e^{-13819,66t} - 36180,34 A_2 e^{-36180,34t}$$

$$i_{3св}(0+) = i_3(0-) - i_{пр} = -2 \text{ [A]}$$

По второму закону Кирхгофа:

$$i_{3CB}(0+) * R + L_1 \frac{di_{3CB}}{dt} - u_{CCB}(0+) = 0$$

$$\frac{di_{3CB}}{dt} = \frac{u_{CCB}(0+) - R * i_{3CB}(0+)}{L_1} = 0, \text{ где } u_{CCB}(0+) = u_c(0-) - u_{Cпр}(0+) = -80 \text{ [В]}$$

$$\begin{cases} i_{3CB}(0+) = A_1 + A_2 \\ \frac{di_{3CB}}{dt} = -13819,66 A_1 - 36180,34 A_2 \\ \begin{cases} A_1 = -2 - A_2 \\ 0 = -13819,66(-2 - A_2) - 36180,34 A_2 \end{cases} \end{cases}$$

Отсюда A_1 и A_2 :

$$A_1 = -3,236$$

$$A_2 = 1,236$$

$$i_{3CB}(t) = -2,236e^{-13819,66t} + 1,236e^{-36180,34t}$$

$$i_3(t) = i_{3пр} + i_{3CB} = 4 - 2,236e^{-13819,66t} + 1,236e^{-36180,34t}$$

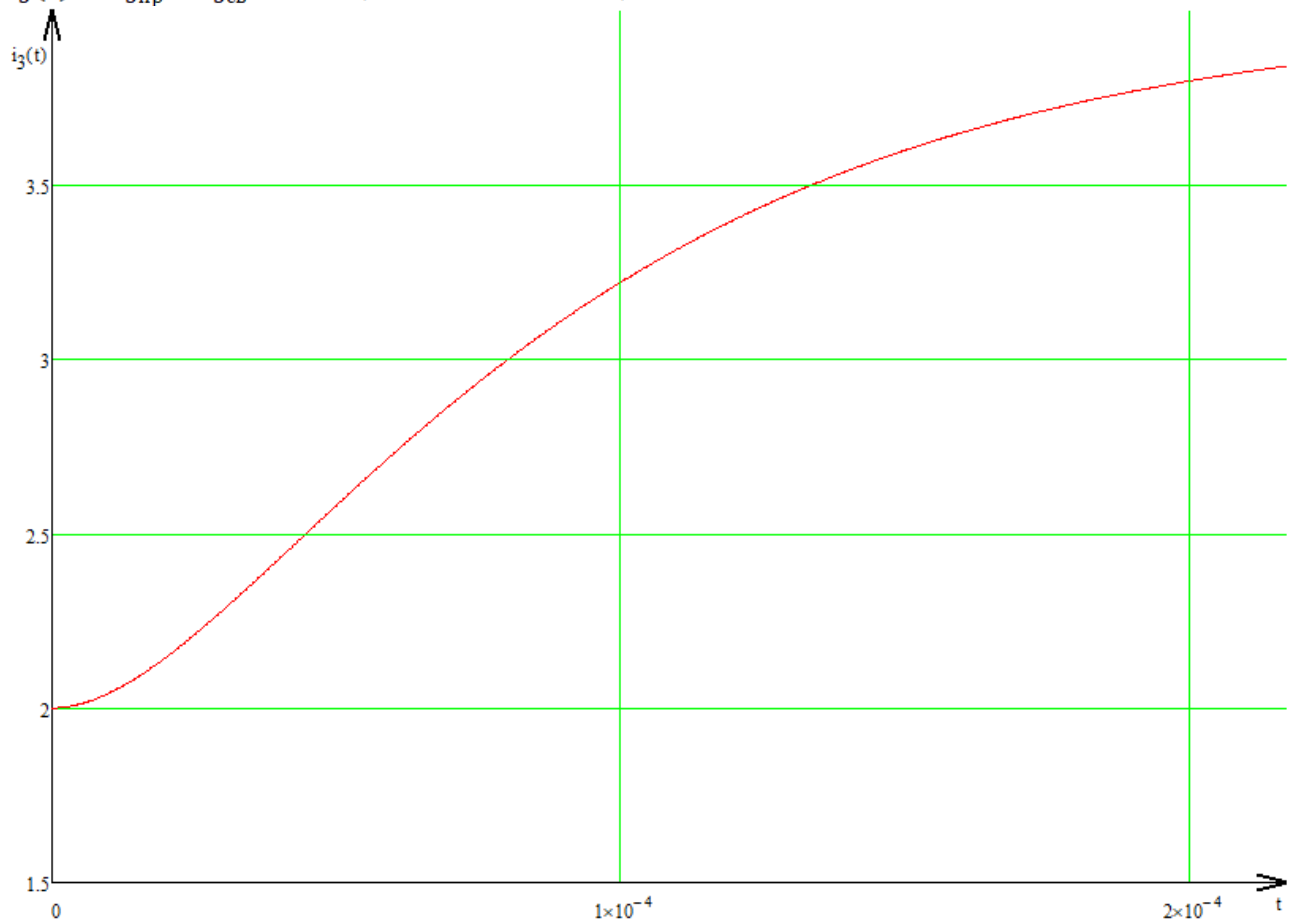


Рис. 5.2 – График изменения i_3 в функции времени в интервале от $t=0$ до $t=3/|p|_{\min}$

4 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Электротехника» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 15.03.04 Автоматизация производственных процессов и производств.

Преподаватель-разработчик – М.Э. Сивухо

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен заведующим кафедрой энергетики.

Заведующий кафедрой



В.Ф. Белей

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на кафедре цифровых систем и автоматике.

И.о. заведующего кафедрой



В.И. Устич

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен методической комиссией института цифровых технологий (протокол №5 от 29.08.2024 г).

Председатель методической комиссии



О.С. Витренко