

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
«Амурский государственный университет
(ГОУВПО «АмГУ)

Утверждаю
Зав. кафедрой АПП и Э
_____ А.Н. Рыбалев
«___» _____ 2009 г.

Энергетический факультет
Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

Учебно-методический комплекс дисциплины
Электротехника и электроника
(часть I)

для специальности
14.01.01 «Тепловые электрические станции»

Составитель:

Л.А. Вилесова

Благовещенск 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕМАМ КУРСА	4
2. ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ	36
3. ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ	49
4. КРАТКИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕЙ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ (РАЗДЕЛ «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ»)	68
5. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА	81
6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	85
7. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ОСТАТОЧНЫХ ЗНАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	90
8. ТЕСТЫ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ	104

ВВЕДЕНИЕ

По государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования по направлению 650800 «Теплоэнергетика» (2000г.) для специальности «Тепловые электрические станции» - 140101 на изучение дисциплины «Электротехника и электроника» отводится всего 150 часов.

ОПД.Ф.04 Электротехника и электроника: 150

общая электротехника и электроника:

электрические цепи постоянного тока; электрические цепи постоянного тока; трехпроводные и четырехпроводные трехфазные цепи; переходные процессы в электрических цепях; линейные и нелинейные цепи; магнитные цепи; электрические машины постоянного тока; асинхронные машины; синхронные машины; основы электропривода и электроснабжения; основы электроники и импульсных устройств; трансформаторы.

Но учитывая необходимость более подробного изучения электрических машин и электронных устройств (см. дисциплины **ОПД.Ф.05, Ф.10** и дисциплины **СД.05** государственного образовательного стандарта), по согласованию с заказчиками специалистов, в учебном плане специальности изучение дисциплины «Электротехника и электроника» осуществляется в 3^{-х} семестрах:

- в 3^{-ем} семестре изучается

раздел: Линейные и нелинейные электрические цепи – 150 часов;

- в 4^{-ом} семестре

раздел: Специальные главы электроники – 80 часов;

- в 5^{-ом} семестре

раздел: Электрические машины (электромеханика) – 130 часов;

В данном УМКД собраны материалы по первому разделу названной дисциплины, причем 90 часов отводится на аудиторные занятия и 60 часов на самостоятельную работу (см. рабочую программу).

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ.

Методические указания по темам курса

Электрические цепи постоянного тока

Приступая к изучению данного раздела, необходимо иметь представление о типах генерирующих устройств, их внешних характеристиках и режимах работы, а также об основных видах приемных устройств и их условных обозначениях. Следует знать основные законы и понимать свойства линейных электрических цепей. Необходимо уметь анализировать электрическое состояние цепей с нелинейными резистивными элементами. После изучения данного раздела студенты должны:

1) знать области применения электротехнических устройств постоянного тока, способы соединения электрических устройств, методику составления уравнений электрического состояния линейных цепей, примеры нелинейных элементов и их вольт-амперные характеристики;

2) понимать эквивалентность схем источников э. д. с. и тока, смысл вольт-амперных характеристик приемных и внешних характеристик генерирующих устройств, сущность энергетических процессов, происходящих в генерирующих приемных устройствах, возможности осуществления взаимных преобразований схем соединений пассивных элементов треугольником и звездой, замены нелинейного элемента эквивалентной схемой замещения с линейными элементами, проведения анализа линейных электрических цепей методами контурных токов, суперпозиции, пропорциональных величин;

3) уметь проводить анализ линейных электрических цепей методами свертывания, непосредственного применения законов Кирхгофа, узлового напряжения, составлять уравнения баланса электрической мощности, определять ток любой ветви сложной электрической цепи методом эквивалентного генератора, применять метод пересечения характеристик для определения тока в нелинейной цепи.

Приступая к расчету электрических цепей, необходимо иметь четкое представление о схемах соединения (последовательное, параллельное, смешанное) как приемников, так и источников электрической энергии. В ряде случаев приходится иметь дело и с более сложными соединениями, к которым относятся многоугольники и звезды. Наиболее часто встречаются соединения треугольником и трехлучевой звездой. При расчете электрических цепей обычно пользуются законами Ома и Кирхгофа. Электрические цепи разделяются на цепи с одним и с несколькими источниками.

Анализ цепей с одним источником проводится двумя методами: методом свертывания схемы (определение входного или эквивалентного сопротивления) и методом пропорциональных величин (метод подобия).

При анализе цепи с несколькими источниками используются метод непосредственного применения законов Кирхгофа, методы контурных токов (ячеек), суперпозиции (наложения), узлового напряжения (если в схеме имеется два узла) и эквивалентного генератора (для нахождения тока в одной из ветвей схемы).

В большинстве случаев при расчете электрических цепей известными (заданными) величинами являются электродвижущие силы (э. д. с), напряжения

или токи источников электрической энергии и сопротивления потребителей, неизвестными (рассчитываемыми) величинами являются токи и напряжения приемников.

Анализ электрических цепей постоянного тока с одним источником

Рассмотрим электрическую цепь, схема которой изображена на рис. 1. Пусть известны значения сопротивления резисторов $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$, э. д. с. E и ее внутреннее сопротивление R_0 . Требуется определить токи во всех участках цепи и напряжение, которое покажет вольтметр (сопротивление его бесконечно велико), включенный между точками схемы a и d .

Такие задачи решаются методом свертывания схемы, по которому отдельные участки схемы упрощают и постепенным преобразованием приводят схему к одному эквивалентному (входному) сопротивлению относительно зажимов источников питания. Схема упрощается с помощью замены группы последовательно или параллельно соединенных резисторов одним эквивалентным по сопротивлению. Так, резисторы R_4 и R_5 , соединены последовательно, а резистор R_6 - с ними параллельно, поэтому их эквивалентное сопротивление

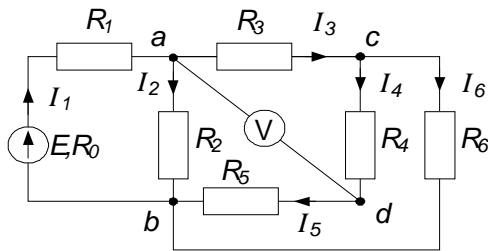


Рис. 1

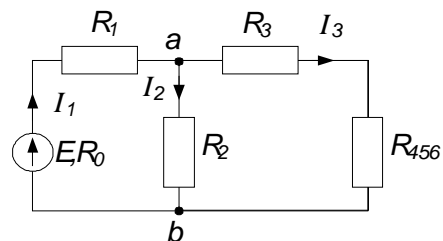


Рис. 2

стор R_6 - с ними параллельно, поэтому их эквивалентное сопротивление

$$R_{456} = \frac{R_4 R_5 R_6}{R_4 R_5 + R_4 R_6 + R_5 R_6}, \quad \text{где } R_{45} = R_4 + R_5.$$

После произведенных преобразований схема принимает вид, показанный на рис. 2, а эквивалентное сопротивление всей цепи найдем из уравнения

$$R_{\text{э}} = R_0 + R_1 + \frac{R_2(R_3 + R_{456})}{R_2 + R_3 + R_{456}}$$

Ток I_1 в неразветвленной части схемы определим по закону Ома: $I_1 = E/R_{\text{э}}$

Воспользовавшись схемой (рис. 2), найдем токи I_2 и I_3 .

$$I_2 = I_1 \frac{R_3 + R_{456}}{R_2 + R_3 + R_{456}}; \quad I_3 = I_1 \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_{456}}$$

к рис. 1, определим токи I_4, I_5 и I_6 по аналогичным уравнениям:

Переходя

$$I_4 = I_5 = I_3 \frac{R_6}{R_4 + R_5 + R_6} ; \quad I_6 = I_3 \frac{R_4 + R_5}{R_4 + R_5 + R_6}$$

Зная ток I_1 , можно найти ток I_2 по-другому. Согласно второму закону Кирхгофа:

$$U_{ab} = E - (R_0 + R_1)I_1, \text{ тогда } I_2 = U_{ab}/R_2.$$

Показания вольтметра можно определить, составив уравнение по второму закону Кирхгофа, например, для контура $acda$: $R_3I_3 + R_4I_4 = U_{ad}$.

Для проверки решения можно воспользоваться первым законом Кирхгофа и уравнением баланса мощностей, которые для схемы, изображенной на рис. 1, примут вид

$$I_1 = I_2 + I_3; \quad I_3 = I_4 + I_6;$$

$$EI_1 = (R_0 + R_1)I_1^2 + R_2I_2^2 + R_3I_3^2 + (R_4 + R_5)I_4^2 + R_6I_6^2.$$

Электрические цепи с одним источником можно рассчитывать методом подобия (метод пропорциональных величин), который применим только для расчета линейных цепей, т.е. цепей с неизменными значениями сопротивлений. Воспользуемся свойствами линейных цепей для определения токов схемы, изображенной на рис. 1, в такой последовательности: задаемся произвольным значением тока I_6' в резисторе R_6 , наиболее удаленном от источника питания. По заданному току I_6' и сопротивлению резистора R_6 определяем напряжение

$$U_{cb}' = R_6I_6'.$$

Далее определяем

$$I_4' = I_5' = U_{cb}' / (R_4 + R_5); \quad I_3' = I_4' + I_6';$$

$$U_{ac}' = R_3I_3'; \quad U_{ab}' = U_{ac}' + U_{cb}';$$

$$I_2' = U_{ab}' / R_2; \quad I_1' = I_2' + I_3'.$$

Наконец, находим

$$\text{значение э.д.с. } E': \quad E' = (R_0 + R_1)I_1' + R_2I_2'.$$

Однако найденное значение э. д. с. E' в общем случае отличается от заданной величины

э. д. с. E . Поэтому для определения действительных значений токов и напряжений вычисляем так называемый коэффициент подобия $K = E/E'$. Умножив на него полученные при расчете значения токов и напряжения, находим действительные значения токов цепи. Метод пропорциональных величин особенно эффективен при расчете разветвленных линейных электрических цепей с одним источником.

Рассмотрим электрическую цепь, схема которой изображена на рис. 3. К источнику тока $J = 0,1$ А подключены резисторы с сопротивлениями $R_1 = 12$ Ом; $R_2 = 10$ Ом; $R_3 = 16$ Ом; $R_4 = 40$ Ом; $R_5 = 60$ Ом. Определить напряжение U_{ab} источника тока и все токи. Составить баланс мощностей. Задача решается методом свертывания схемы. Находим входное сопротивление R_{ab} схемы относительно зажимов источника тока:

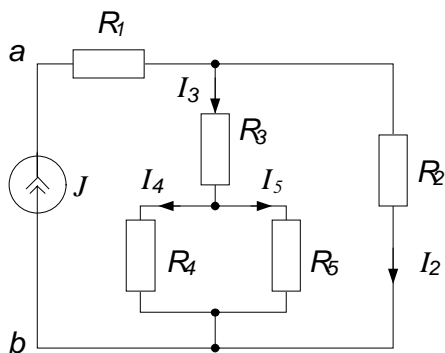


Рис. 3

$$R_{ab} = R_1 + \frac{R_2 \left(R_3 + \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} \right)}{R_2 + R_3 + \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5}} = 12 + \frac{10 \left(16 + \frac{40 \cdot 60}{40 + 60} \right)}{10 + 16 + \frac{40 \cdot 60}{40 + 60}} = 20 \text{ Ом}$$

Находим напряжение на зажимах источника U_{ab} :

$$U_{ab} = R_{ab} J = 20 \cdot 0,1 = 2 \text{ В.}$$

По закону Ома находим ток I_2 :

$$I_2 = \frac{U_{ab} - R_1 J}{R_2} = \frac{2 - 0,1 \cdot 12}{10} = 0,08 \text{ А.}$$

Ток I_3 определяем из уравнения закона Кирхгофа:

$$I_3 = J - I_2 = 0,1 - 0,08 = 0,02 \text{ А.}$$

Этот ток распределяется обратно пропорционально сопротивлениям R_4 и R_5 :

$$I_4 = I_3 \frac{R_5}{R_4 + R_5} = 0,012 \text{ А}; \quad I_5 = I_3 \frac{R_4}{R_4 + R_5} = 0,008 \text{ А.}$$

Уравнение баланса мощностей отражает равенство мощностей, отдаваемой источником и расходуемой приемниками, т. е.

$$\begin{aligned} U_{ab} J &= R_1 J^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2 = \\ &= 2 \cdot 0,1 = 12 \cdot 0,12^2 + 10 \cdot 0,08^2 + 16 \cdot 0,02^2 + 40 \cdot 0,012^2 + 60 \cdot 0,008^2 = 0,2 \text{ Вт,} \end{aligned}$$

следовательно,

$$P_{II} = P_H = 0,2 \text{ Вт.}$$

Методы общего анализа линейных электрических цепей с несколькими источниками

Важным вопросом этого раздела является расчет распределения токов в сложных линейных цепях с несколькими источниками. Классическим методом расчета таких цепей является непосредственное применение законов Кирхгофа. Все остальные методы расчета исходят из этих фундаментальных законов электротехники.

Рассмотрим сложную электрическую цепь (рис. 4), которая содержит шесть ветвей. Если будут заданы значения всех э. д. с. и сопротивлений резисторов, а по условию задачи требуется определить токи в ветвях, то имеем задачу с шестью неизвестными. Такие задачи решаются с помощью законов Кирхгофа. В этом случае должно быть составлено столько уравнений, сколько неизвестных токов.

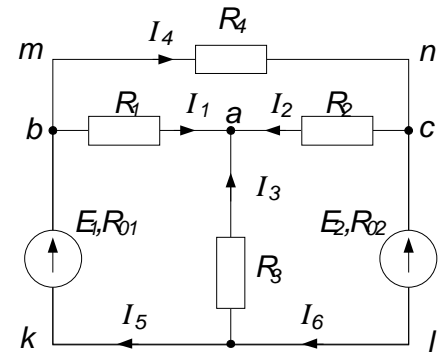


Рис. 4

Порядок расчета следующий.

1. Если цепь содержит последовательные и параллельные соединения, то ее упрощают, заменяя эти соединения эквивалентными.

2. Произвольно указывают направления токов во всех ветвях. Если принятое направление тока не совпадает с действительным, то при расчете такие токи получаются со знаками минус.

3. Составляют $(n-1)$ уравнений по первому закону Кирхгофа (n — число узлов).

4. Недостающие уравнения в количестве $m-(n-1)$, где m — число ветвей, составляют по второму закону Кирхгофа, при этом обход контура можно производить как по часовой стрелке, так и против нее. За положительные э.д.с. и токи принимаются такие, направление которых совпадает с направлением обхода контура. Направление действия э. д. с, внутри источника всегда принимают от минуса к плюсу (см. рис. 4).

5. Полученную систему уравнений решают относительно неизвестных токов. Составим расчетные уравнения для электрической цепи, изображенной на рис. 4. Выбрав произвольно направление токов в ветвях цепи, составляем уравнение по первому закону Кирхгофа для a , b , c :

$$\left. \begin{aligned} I_1 + I_2 + I_3 &= 0, \\ I_5 - I_1 - I_4 &= 0, \\ I_4 - I_2 - I_6 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Приняв направление обхода контуров по часовой стрелке, составляем уравнения по второму закону Кирхгофа для трех произвольно выбранных контуров:

$$\text{для контура } adkba \quad E_1 = R_1 I_1 - R_3 I_3 + R_{01} I_5; \quad (2)$$

$$\text{для контура } bacldkb \quad E_1 - E_2 = R_1 I_1 - R_2 I_2 + R_{01} I_5 + R_{02} I_6; \quad (3)$$

$$\text{для контура } bmncab \quad 0 = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_4 I_4. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (1), (2), (3) и (4), определяем токи в ветвях электрической цепи.

Легко заметить, что решение полученной системы из шести уравнений является весьма трудоемкой операцией. Поэтому при анализе электрических цепей с несколькими источниками целесообразно применять метод контурных токов, позволяющий уменьшить число совместно решаемых уравнений, составляемых по двум законам Кирхгофа, на число уравнений, записанных по первому закону Кирхгофа. Следовательно, число уравнений, составляемых по методу контурных токов, равно $m-n+1$. При решении этим методом количество уравнений определяется числом независимых контуров. В данном случае таких контуров три: $badkb$, $aclda$, $mncabm$.

Расчет сложных электрических цепей методом контурных токов ведется следующим образом:

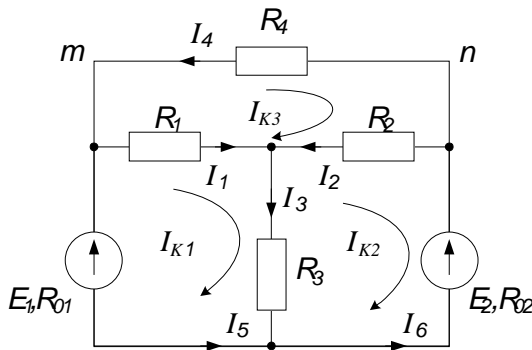


Рис.5

1. Вводя понятие «контурный ток», произвольно задаёмся направлением этих токов в контурах. Удобнее все токи указать в одном направлении, например по часовой стрелке (рис. 5).

2. Составляем для каждого контура уравнение по второму закону Кирхгофа. Обход контуров производим по часовой стрелке:

$$\text{первый контур} \quad E_1 = (R_{01} + R_1 + R_3)I_{K1} - R_3 I_{K2} - R_1 I_{K3}; \quad (5)$$

$$\text{второй контур} \quad -E_2 = -R_3 I_{K1} + (R_{02} + R_2 + R_3)I_{K2} - R_2 I_{K3}; \quad (6)$$

$$\text{третий контур} \quad 0 = -R_1 I_{K1} - R_2 I_{K2} + (R_{01} + R_1 + R_3)I_{K3}; \quad (7)$$

3. Решая совместно уравнение (5), (6), (7), определяем контурные токи. В том случае, когда контурный ток получается со знаком минус, это означает, что его направление противоположно выбранному на схеме.

4. Токи во внутренних ветвях схемы определяются как сумма или разность соответствующих контурных токов. В том случае, когда контурные токи в ветви совпадают, берут сумму, а когда направлены навстречу — из большего тока вычитают меньший.

5. Токи во внешних ветвях схемы по значению равны соответствующим контурным токам.

Задача 1. Найти токи в цепи, схема которой изображена на рис. 5. Задано: $E_1 = 100$ В, $E_2 = 120$ В, $R_{01} = R_{02} = 0,5$ Ом, $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 2$ Ом, $R_4 = 10$ Ом. Определить токи в ветвях цепи.

Решение. Используя уравнения (5), (6) и (7), получаем:

$$\left. \begin{aligned} 100 &= 7,5 I_{K1} - 2 I_{K2} - 5 I_{K3}, \\ -120 &= -2 I_{K1} + 12,5 I_{K2} - 10 I_{K3}, \\ 0 &= -5 I_{K1} - 10 I_{K2} + 25 I_{K3}. \end{aligned} \right\}$$

Выразив I_{K3} через I_{K1} и I_{K2} :

$$I_{K3} = \frac{5}{25} I_{K1} + \frac{10}{25} I_{K2}$$

и произведя соответствующие подстановки, получаем

$$\left. \begin{aligned} 100 &= 6,5 I_{K1} - 4 I_{K2}, \\ -120 &= -4 I_{K1} + 8,5 I_{K2}. \end{aligned} \right\}$$

Совместное решение полученных уравнений дает:

$$I_{K1} = -5,2 \text{ A}; \quad I_{K2} = -33,5 \text{ A}; \quad I_{K3} = -14,4 \text{ A}.$$

Определяем токи в ветвях:

$$I_1 = I_{K1} - I_{K3} = -5,2 + 14,4 = 9,2 \text{ A};$$

$$I_2 = I_{K3} - I_{K2} = -14,4 + 33,5 = 19,1 \text{ A};$$

$$I_3 = I_{K1} - I_{K2} = -5,2 + 33,5 = 28,3 \text{ A};$$

$$I_4 = -I_{K3} = 14,4 \text{ A}; \quad I_5 = -I_{K1} = 5,2 \text{ A}; \quad I_6 = -I_{K2} = 33,5 \text{ A};$$

Задача 2. Определить токи и составить баланс мощностей для схемы, изображенной на рис. 6. Дано: $J = 50 \text{ mA}$; $E_1 = 60 \text{ В}$; $R_1 = 5 \text{ кОм}$; $R_2 = 4 \text{ кОм}$; $R_3 = 16 \text{ кОм}$; $R_4 = 2 \text{ кОм}$; $R_5 = 8 \text{ кОм}$.

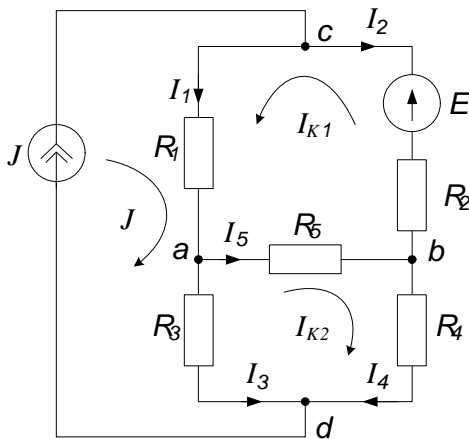


Рис. 6

Решение. Схема содержит шесть ветвей ($m = 6$) и четыре узла ($n = 4$). Число уравнений, составляемых по методу контурных токов, равно $m - n + 1 = 2$, так как в схеме имеется источник тока, ток которого может быть принят равным контурному току. Зададимся произвольным направлением контурных токов I_{K1} и I_{K2} , как показано на рис. 6. Там же нанесен известный контурный ток источника тока J . Составим систему уравнений первого и второго контуров:

$$\left. \begin{aligned} (R_1 + R_2 + R_5) I_{K1} + R_5 I_{K2} + R_1 J &= E, \\ R_5 I_{K1} + (R_3 + R_4 + R_5) I_{K2} - R_3 J &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Подставляя числовые значения и решая эти уравнения, найдем контурные токи:

$$I_{K1} = -30 \text{ mA}; \quad I_{K2} = 40 \text{ mA}.$$

Искомые токи будут равны:

$$I_1 = J - I_{K1} = 20 \text{ мА}; I_2 = -I_{K1} = 30 \text{ мА}; I_3 = J - I_{K2} = 10 \text{ мА}; \\ I_4 = I_{K2} = 40 \text{ мА}; I_5 = I_{K1} + I_{K2} = 10 \text{ мА}.$$

Составляем баланс мощностей:

$$P_{\text{И}} = -EI_2 + U_{cd}J = -EI_2 + (R_1I_1 + R_3I_3)J;$$

$$P_{\text{Ц}} = R_1I_1^2 + R_2I_2^2 + R_3I_3^2 + R_4I_4^2 + R_5I_5^2.$$

Подставляя числовые значения, получим $P_{\text{И}} = P_{\text{Ц}} = 11,2 \text{ Вт}$.

Метод наложения, основанный на принципе суперпозиции, позволяет свести расчет разветвленной цепи с несколькими источниками к нескольким расчетам этой же цепи, но с одним источником. Порядок расчета: 1) поочередно рассматривают действие в цепи только одного источника, а все остальные источники исключаются (остаются только их внутренние сопротивления); 2) рассчитывают токи в ветвях от действия каждого источника; 3) алгебраическим суммированием токов, полученных от действия каждого источника в отдельности, находят токи в ветвях цепи. Метод является особенно эффективным при расчете токов, когда изменяется значение э. д. с. только одного источника.

В промышленной электронике, автоматике часто используют цепи, схема которых изображена на рис. 7. Такие схемы удобно анализировать с помощью метода узлового напряжения (напряжения между двумя узлами).

Задача. Найти токи и показание вольтметра в цепи, схема которой приведена на рис. 7, если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ Ом}$.

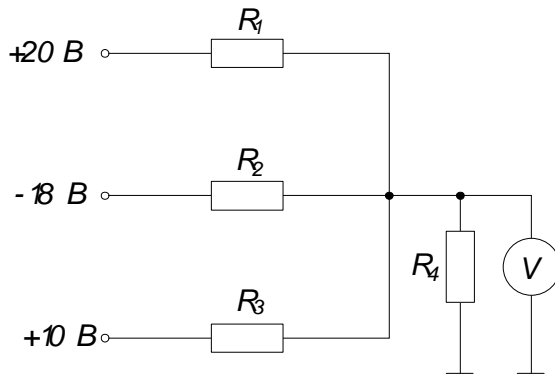


Рис.7

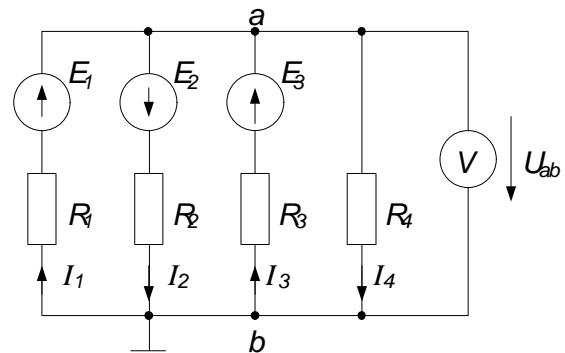


Рис.8

Решение. Рис.7 соответствует схеме замещения (рис. 8); $E_1=20 \text{ В}$, $E_2=18 \text{ В}$, $E_3=10 \text{ В}$. Найдем узловое напряжение U_{ab} (показание вольтметра):

$$U_{ab} = \frac{G_1E_1 - G_2E_2 + G_3E_3}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4} = \frac{0,1 \cdot 20 - 0,1 \cdot 18 + 0,1 \cdot 10}{0,4} = 3 \text{ В}$$

Токи в ветвях определяются по закону Ома

$$I_1 = (E_1 - U_{ab})/R_1 = 1,7 \text{ А}; I_2 = (E_2 - U_{ab})/R_2 = 2,1 \text{ А}; I_3 = (E_3 - U_{ab})/R_3 = 0,7 \text{ А};$$

$$I_4 = U_{ab}/R_4 = 0,3 \text{ А}.$$

Частичный анализ электрических цепей. Метод эквивалентного генератора

На практике часто бывает необходимо изучать режим работы только одной из ветвей сложной электрической цепи. При этом не следует производить громоздкий расчет всей цепи, а целесообразно воспользоваться методом эквивалентного генератора. Согласно этому методу, воздействие всех источников сложной электрической цепи на исследуемую ветвь можно заменить воздействием последовательно включенного с ветвью эквивалентного источника (генератора), имеющего э. д. с. $E_{ЭК}$, равную напряжению холостого хода U_x на зажимах разомкнутой исследуемой ветви, и внутреннее сопротивление $R_{ЭК}$, равное входному сопротивлению цепи со стороны зажимов исследуемой ветви.

Порядок расчета: 1) произвольно выбирают направление тока в исследуемой ветви; 2) отключают исследуемую ветвь, осуществляя режим холостого хода; 3) определяют напряжение холостого хода U_x на зажимах разомкнутой ветви; 4) находят входное (эквивалентное) сопротивление цепи со стороны зажимов разомкнутой ветви; 5) в общем случае находят ток в исследуемой ветви по выражению

$$I = (U_x \pm E)/(R_{ЭК} + R), \quad (8)$$

где R — сопротивление резистора ветви, в которой определяется ток; $R_{ЭК}$ — входное (эквивалентное) сопротивление цепи со стороны зажимов выделенной ветви; U_x — напряжение холостого хода на зажимах разомкнутой выделенной ветви; E — э.д.с., находящаяся в исследуемой ветви. Если ветвь не содержит э.д.с., то она принимается равной нулю.

Знаки плюс или минус выбирают в соответствии с законом Ома для ветви с источником, т. е. если направление э. д. с. совпадает с направлением тока, то берется знак плюс, и противном случае — минус.

Рассмотрим применение метода эквивалентного генератора на примере схемы, изображенной на рис. 9.

Задача. Определить ток в ветви bc , если $E_2 = E_3 = E_4 = 20$ В, $E_5 = 30$ В, $E_6 = 60$ В, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2$ Ом, $R_5 = 3$ Ом, $R_6 = 6$ Ом.

Решение задачи состоит из двух этапов.

1. Определение напряжения холостого хода U_{xbc} на зажимах разомкнутой ветви bc . Схема в этом случае имеет вид, показанный на рис. 10. Для нахождения U_{xbc} следует найти ток I_1 и напряжение U_{ac} :

$$I_1 = E_2/(R_1 + R_2) = 20/(2+2) = 5 \text{ А},$$

Напряжение U_{ac} находим по формуле узлового напряжения;

$$U_{ac} = \frac{G_5 E_5 - G_4 E_4 - G_6 E_6}{G_4 + G_5 + G_6} = \frac{\frac{1}{3} \cdot 30 - \frac{1}{2} \cdot 20 - \frac{1}{6} \cdot 60}{\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6}} = -10 \text{ В}$$

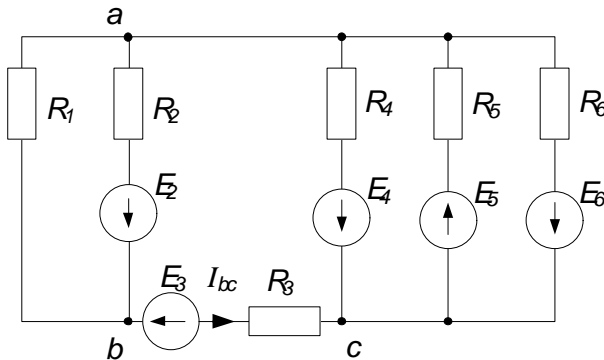


Рис.9

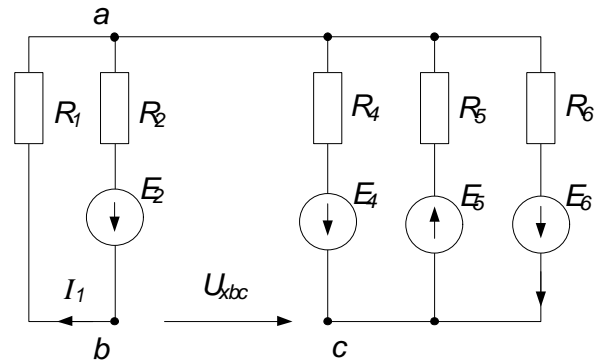


Рис.10

Напряжение найдем по второму закону Кирхгофа, обходя контур *bacb*:

$$U_{xbc} = R_1 I_1 + U_{ac} = 2 \cdot 5 - 10 = 0.$$

2. Определение эквивалентного сопротивления $R_{\text{ЭКbc}}$. Схема в этом случае имеет вид, показанный на рис. 11:

$$R_{\text{ЭКbc}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{1}{1/R_4 + 1/R_5 + 1/R_6} = \frac{2 \cdot 2}{2 + 2} + \frac{1}{1/2 + 1/3 + 1/6} = 2 \text{ Ом.}$$

Подставляя найденные, значения в (8), получаем

$$I_{bc} = (0 - 20)/(2 + 2) = -5 \text{ А,}$$

т. е. истинный ток в. схеме имеет направление, противоположное выбранному.

Метод эквивалентного генератора применяется при расчете нелинейных цепей постоянного тока с одним нелинейным элементом.

Например, широко распространены мостовые схемы измерения неэлектрических величин электрическими методами, в которых с помощью нелинейного элемента (преобразователя), включенного в одно из плеч или диагональ мостовой схемы, происходит преобразование неэлектрического воздействия в электрический сигнал (ток или напряжение), который фиксируется измерительным прибором.

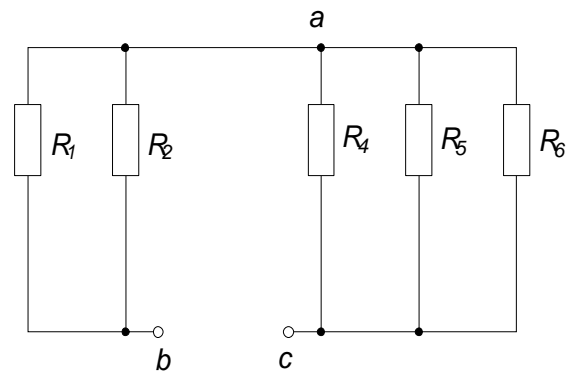


Рис.11

При расчете нелинейных цепей постоянного тока также используется метод свертывания, который сводится к графическому определению результирующей вольт-амперной характеристики нескольких нелинейных элементов, и метод пересечения характеристик, который особенно удобен, когда к источнику напряжения подключены линейный и нелинейный элементы. Последний метод широко используется в электронной технике для анализа работы управляемых нелинейных элементов (транзисторов, ламп и др.).

Электрические цепи переменного тока Однофазные цепи

В результате изучения данного раздела студенты должны:

1) знать содержание терминов: резистор, сопротивление, индуктивная катушка, индуктивность, индуктивное сопротивление, конденсатор, емкость, емкостное сопротивление, фаза, начальная фаза, угол сдвига фазы, период, частота, угловая частота, мгновенное, действующее и среднее значения гармонических величин, полное, активное, реактивное, комплексное сопротивление и проводимости; полная, активная, реактивная, комплексная мощности; характеристики и параметры элементов схем замещения цепей однофазного тока; условия и способы получения резонансов напряжений и токов;

2) понимать особенности электромагнитных процессов и энергетические соотношения в цепях синусоидального тока, экономическое значение коэффициента мощности, особенности анализа простейших электрических цепей с магнитосвязанными элементами;

3) уметь составлять дифференциальные и комплексные уравнения электрического состояния линейных цепей; представлять гармонически изменяющиеся величины тригонометрическими функциями, графиками, вращающимися векторами и комплексными числами; строить векторные диаграммы неразветвленных цепей и цепей с параллельным соединением ветвей; определять опытным путем параметры схем замещения пассивных двухполюсников; с помощью электроизмерительных приборов измерять токи, напряжения и мощности в электрических цепях; строить потенциальные (топографические) диаграммы для неразветвленных цепей и цепей с параллельным соединением ветвей.

При изучении явлений резонанса в цепях переменного тока необходимо знать условия их возникновения, а также обратить внимание на практическое применение резонанса токов для искусственного повышения коэффициента мощности в промышленных электроустановках. В то же время следует понимать, что возникновение резонанса в электрических устройствах может представлять опасность как для самих устройств, так и для обслуживающего персонала.

Изучая явления резонанса, необходимо усвоить следующее. При резонансе напряжение и ток на зажимах цепи всегда совпадают по фазе. Настройка же цепи на резонанс зависит от схемы соединения индуктивности и емкости. Для последовательной цепи условием резонанса является равенство индуктивного и емкостного сопротивлений: $X_L = X_C$. Для цепи, содержащей параллельный контур, в одной из ветвей которого находится индуктивная катушка, а в другой - конденсатор, условием резонанса является равенство реактивных проводимостей ветвей: $B_L = B_C$.

При расчете цепей синусоидального тока приходится совершать различные математические операции, которые удобно производить над действующими значениями токов и напряжений, рассматривая их как векторы. Значения векторов при этом равны действующим токам и напряжениям, а начальная фаза определяет положение вектора относительно положительной горизонтальной оси координат. При положительной (опережающей) начальной фазе вектор повернут на соответствующий угол против движения часовой стрелки, а при отрицательной (отстающей) - по направлению движения часовой стрелки. Векторной диаграммой называют совокупность векторов, изображающих синусоидальные э. д. с, напряжения и токи одной частоты, выходящих из общей точки.

Для цепей синусоидального тока обычно строят потенциальную (топографическую) диаграмму, каждая точка которой соответствует определенной точке электрической цепи. Чтобы осуществить это соответствие точек диаграммы и цепи, построение потенциальной диаграммы ведут в той же последовательности, в какой обходят метрическую цепь. Обычно направление обхода выбирают противоположным принятому направлению тока в цепи. Для наглядности в некоторых случаях векторные и потенциальные диаграммы объединяют в одну. Необходимо обратить особое внимание на направление векторов на потенциальных диаграммах. Векторы напряжений направлены относительно точек потенциальной диаграммы противоположно положительным направлениям напряжений относительно соответствующих точек цепи. Ценность потенциальной диаграммы состоит в том, что она позволяет определять напряжения между любыми точками цепи. Для этого следует соединить соответствующие точки потенциальной диаграммы отрезком прямой и придать этому отрезку соответствующее направление.

С помощью потенциальной диаграммы удобно производить сложение напряжений, возникающих на отдельных участках последовательной цепи (второй закон Кирхгофа), и сложение токов, протекающих в ветвях параллельной цепи (первый закон Кирхгофа).

При построении векторных диаграмм один из векторов принимают за основной (опорный), располагая его обычно по положительному направлению горизонтальной оси. В этом случае начальная фаза тока или напряжения в зависимости от того, что данный вектор изображает, равна нулю. Для последовательной цепи за основной вектор принимают вектор тока, а для параллельной - вектор напряжения.

На рис. 12 показаны последовательная цепь (рис. 12, а) и ее векторная (рис. 12, б) и потенциальная (рис. 12, в) диаграммы. На рис. 13, а в той же последовательности, что и на рис. 12, показаны параллельная цепь и ее векторная и потенциальная диаграммы.

В том случае, когда сложение или вычитание вектора требуется производить не графически, а математически (например, при расчете электрической цепи), векторы раскладывают на две составляющие, одна из которых называется активной, а вторая – реактивной. Активная составляющая напряжения совпадает по фазе с током, а реактивная — опережает ток или отстает от него по фазе на 90° . Активная составляющая тока совпадает по фазе с напряжением, а реактивная - опережает напряжение или отстает от него по фазе

на 90° . Зная сдвиг между током и напряжением и значения векторов тока и напряжения, легко определить соответствующие составляющие этих векторов.

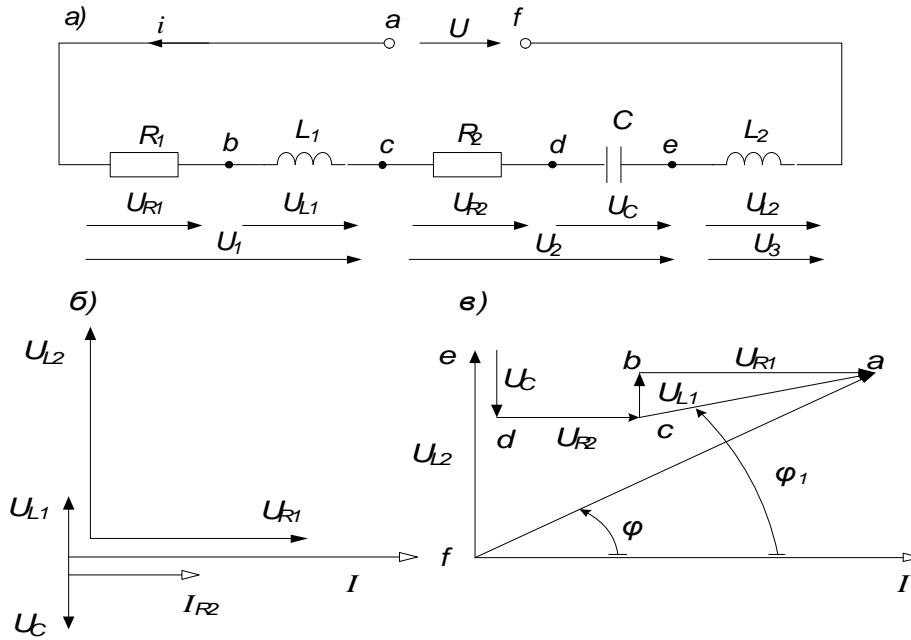


Рис.12

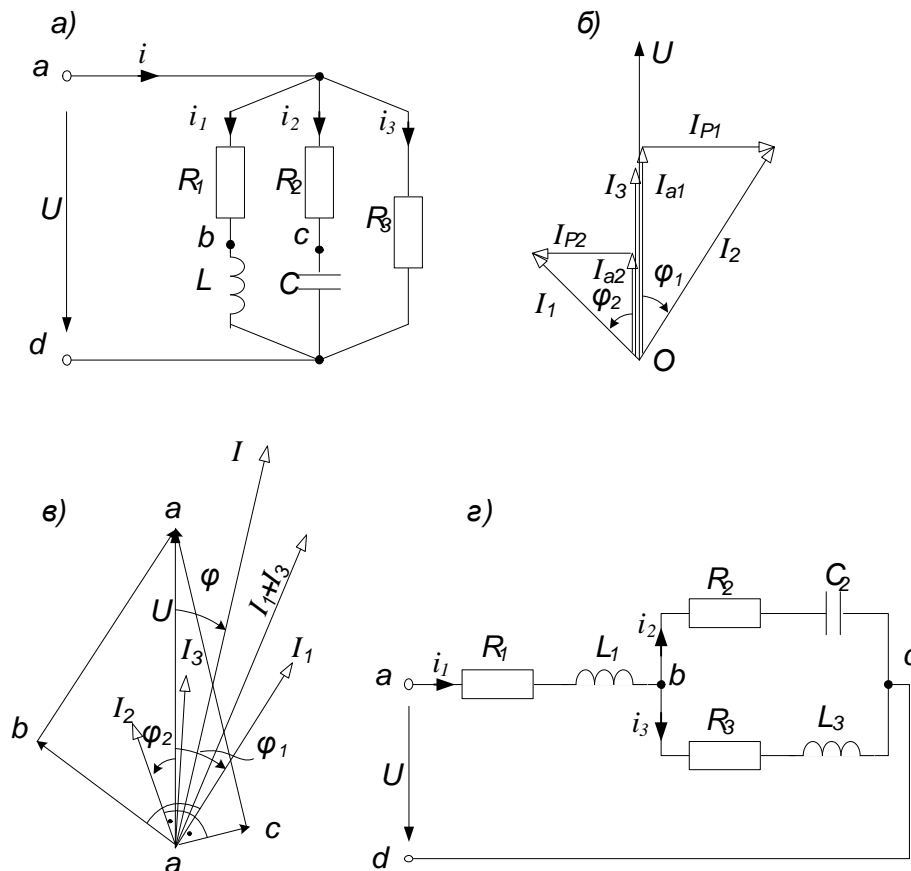


Рис.13

Например, если нам задан синусоидально изменяющийся ток уравнением вида $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$, то его активная и реактивная составляющие для действующего значения соответственно равны: $I_a = I \cos \varphi$; $I_p = I \sin \varphi$, где $I = I_m / \sqrt{2}$.

Аналогично для напряжений: $U_a = U \cos \varphi$; $U_p = U \sin \varphi$.

На диаграмме, изображенной на рис. 13, б, показаны активные и реактивные составляющие токов.

В том случае, когда необходимо произвести сложение двух или более векторов, выражающих собой токи или напряжения, определяют их активные и реактивные составляющие и модуль результирующего вектора:

$$I = \sqrt{(\sum I_a)^2 + (\sum I_L - \sum I_C)^2};$$

$$U = \sqrt{(\sum U_a)^2 + (\sum U_L - \sum U_C)^2},$$

где индексы L и C указывают на характер реактивной составляющей (индуктивность или емкость). Начальная фаза результирующего вектора определяется через $\text{tg } \varphi$:

$$\text{tg } \varphi = \frac{\sum I_L - \sum I_C}{\sum I_a} = \frac{\sum U_L - \sum U_C}{\sum U_a}.$$

Для практических расчетов удобнее выражать векторы тока и напряжения, а также сопротивления и проводимость комплексными числами, в которых активные составляющие являются действительными значениями, а реактивные — мнимыми. Причем знак у мнимого значения зависит от характера реактивной составляющей. При расчете электрических цепей переменного тока с помощью комплексных чисел могут быть использованы методы расчета, применяемые для цепей постоянного тока. Уравнения Кирхгофа в этом случае записываются как соответствующие геометрические суммы.

При выполнении расчетов по методу комплексных чисел следует иметь в виду, что действительная и мнимая части комплексных сопротивлений, проводимости и мощности всегда представляют собой соответственно активную и реактивную составляющие этих значений; что же касается комплексного напряжения и комплексного тока, то такое положение имеет место лишь в частных случаях. Действительная и мнимая части комплексных напряжения и тока определяются начальными фазами значений, иначе говоря, зависят от расположения соответствующих векторов относительно осей комплексной плоскости, тогда как их активная и реактивная составляющие определяются углом сдвига по фазе φ между этими двумя векторами.

При анализе магнитосвязанных электрических цепей необходимо иметь в виду, что при составлении уравнения по второму закону Кирхгофа, при учете напряжения от взаимной индукции сравнивается напряжение обхода рассматриваемой катушки и направление тока во влияющей на нее катушке относительно одноименных зажимов катушек. Если эти направления совпадают, то напряжение взаимной индукции учитывается в уравнении с плюсом, в противном случае — с минусом.

Задача 1. Рассчитать электрическую цепь синусоидального тока со смешанным соединением приемников, схема которой изображена на рис. 13, г.

Дано: $U=120$ В, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 24$ Ом, $R_3=15$ Ом, $L_1 = 19,1$ мГ, $C_2 = 455$ мкФ; $L_3 = 63,5$ мГ, $f = 50$ Гц. Определить токи $\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_3$ в ветвях цепи, напряжения на участках цепи $\underline{U}_1, \underline{U}_2, \underline{U}_3$ активную, реактивную и полную мощности и построить векторную диаграмму на комплексной плоскости.

Решение. Выражаем сопротивления ветвей цепи в комплексной форме:

$$\underline{Z} = R \pm jX = Ze^{\pm j\varphi};$$

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = 10 + j2\pi \cdot 50 \cdot 19,1 \cdot 10^{-3} = 10 + j6 \text{ Ом.}$$

Переходя от алгебраической формы записи комплексного числа к показательной, получаем:

$$\underline{Z}_1 = Z_1 e^{j\varphi_1} = 11,6e^{j31^\circ} \text{ Ом,}$$

$$\text{где } Z_1 = \sqrt{R^2 + (\omega L_1)^2}; \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\omega L_1}{R_1};$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_2 &= R_2 - j \frac{1}{\omega C_2} = 24 - j \frac{10^6}{2\pi \cdot 50 \cdot 455} = \\ &= 24 - j7 \text{ Ом} = 25e^{-j16^\circ 15'} \text{ Ом;} \end{aligned}$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 + j\omega L_3 = 15 + j2\pi \cdot 50 \cdot 63,5 \cdot 10^{-3} = 15 + j20 = 25e^{j53^\circ 05'} \text{ Ом.}$$

Выражаем заданное напряжение U в комплексной форме, если начальная фаза напряжения не задана, то ее можно принять равной нулю и располагать вектор напряжения совпадающим с положительным направлением действительной оси. В этом случае мнимая составляющая комплексного числа отсутствует (рис. 14) $\underline{U} = U = 120$ В. Полное комплексное сопротивление цепи

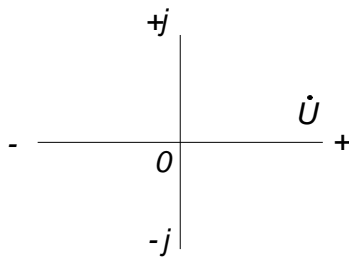


Рис.14

$$\begin{aligned} \underline{Z} &= \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 10 + j6 + \frac{(24 - j7)(15 + j20)}{39 + j13} = \\ &= 10 + j6 + \frac{25e^{-j16^\circ 15'} \cdot 25e^{j53^\circ 05'}}{41e^{j18^\circ 25'}} = 24,4 + j10,8 = 26,7e^{j23^\circ 55'} \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Определяем ток в неразветвленной части цепи

$$\underline{I}_1 = \underline{U} / \underline{Z} = 120 / 26,7e^{j23^\circ 55'} = 4,5e^{-j23^\circ 55'} \text{ А.}$$

Токи I_2 и I_3 в параллельных ветвях могут быть выражены через ток в неразветвленной части цепи:

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_1 \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 4,5e^{-j23^\circ 55'} \frac{15 + j20}{39 + j13} = 2,74e^{j10^\circ 45'} \text{ А;}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_1 \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 4,5e^{-j23^\circ 55'} \frac{24 - j7}{39 + j13} = 2,74e^{-j58^\circ 35'} \text{ А.}$$

Токи I_2 и I_3 можно найти иначе:

$$\underline{U}_{bc} = \underline{Z}_{bc} \underline{I}_1 = \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} \underline{I}_1 = \frac{(24 - j7)(15 + j20)}{39 + j13} \times 4,5 e^{-j23^{\circ}55'} = 68,4 e^{-j5^{\circ}30'} \text{ В};$$

$$\underline{I}_2 = \underline{U}_{bc} / \underline{Z}_2 = 68,4 e^{-j5^{\circ}30'} / 25 e^{-j16^{\circ}15'} = 2,74 e^{j10^{\circ}45'} \text{ А};$$

$$\underline{I}_3 = \underline{U}_{bc} / \underline{Z}_3 = 68,4 e^{-j5^{\circ}30'} / 25 e^{-j58^{\circ}05'} = 2,74 e^{-j58^{\circ}35'} \text{ А}.$$

Найдем мощности всей цепи и отдельных ее ветвей:

$$\underline{S} = \underline{U}_{bc} \underline{I}_1^* = 120 \cdot 4,5 e^{j23^{\circ}55'} = 540 e^{j23^{\circ}55'} \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Для определения активной и реактивной мощностей полную мощность, выраженную комплексным числом в показательной форме, переводим в алгебраическую форму. Тогда действительная часть комплекса представляет собой активную мощность, а мнимая — реактивную:

$$\underline{S} = 540 \cos 23^{\circ}55' + j540 \sin 23^{\circ}55' = 494 + j218 \text{ В} \cdot \text{А}$$

откуда $P = 494$ Вт; $Q = 218$ вар.

Активную и реактивную мощности можно найти иначе:

$$P = \text{Re}[\underline{S}] = \text{Re}[120 \cdot 4,5 e^{j23^{\circ}55'}] = 120 \cdot 4,5 \cos 23^{\circ}55' = 494 \text{ Вт};$$

$$P_1 = R_1 I_1^2 = 10 \cdot 4,5^2 = 202 \text{ Вт}; \quad P_2 = R_2 I_2^2 = 180 \text{ Вт}; \quad P_3 = R_3 I_3^2 = 112 \text{ Вт}.$$

Проверка показывает, что $P = P_1 + P_2 + P_3$.

$$Q = \text{Im}[\underline{S}] = \text{Im}[120 \cdot 4,5 e^{j23^{\circ}55'}] = 120 \cdot 4,5 \sin 23^{\circ}55' = 218 \text{ вар};$$

$$Q_1 = X_1 I_1^2 = 6 \cdot 4,5^2 = 122 \text{ вар}; \quad Q_2 = X_2 I_2^2 = -52,2 \text{ вар}; \quad Q_3 = X_3 I_3^2 = 150 \text{ вар}.$$

Учитывая, что Q_1 и Q_3 положительны (реактивная мощность индуктивных катушек), а Q_2 отрицательно (реактивная мощность конденсатора), получим $Q = Q_1 - Q_2 + Q_3 = 218$ вар.

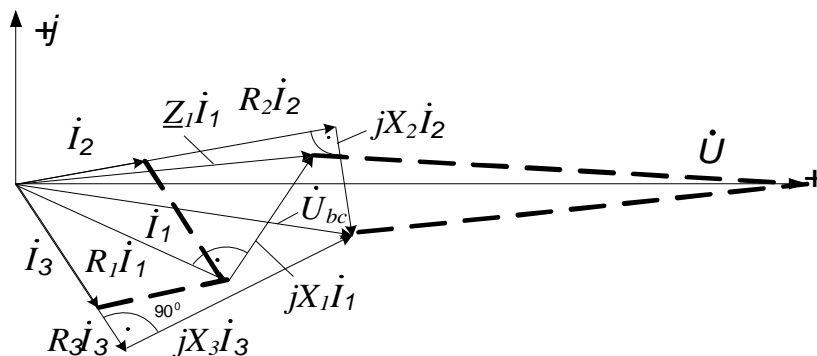


Рис.15

На рис. 15 приведена векторная диаграмма токов и напряжений, построенная по расчетным данным. Порядок ее построения следующий: по результатам расчетов отложены векторы токов \dot{I}_1, \dot{I}_2 и \dot{I}_3 , затем по направлению \dot{I}_1 отложен вектор $R_1 \dot{I}_1$ и перпендикулярно к нему в сторону опережения — вектор $jX_{L1} \dot{I}_1$. Их сумма дает вектор \dot{U}_{bc} . Далее в фазе с \dot{I}_2 построен вектор $R_2 \dot{I}_2$ и перпендикулярно к нему в сторону отставания вектор $jX_{L2} \dot{I}_2$, а их сумма дает вектор напряжения на параллельном участке \dot{U}_{bc} . Тот же вектор можно получить, если в фазе с \dot{I}_3 отложить $R_3 \dot{I}_3$ и к нему прибавить вектор $jX_{L3} \dot{I}_3$, опережающий \dot{I}_3 на 90° . Сумма векторов $Z_1 \dot{I}_1$ и \dot{U}_{bc} дает вектор приложенного напряжения \dot{U} .

Задача 2. Определить эквивалентное комплексное сопротивление цепи (рис. 16, а), ток и напряжение между точками a и b , c и d , если ($U=130$ В, $R_1=2$ Ом, $R_2=3$ Ом, $\omega L_1=3$ Ом, $\omega L_2=7$ Ом, $\omega M=1$ Ом).

Решение. Из рис. 16, а следует, что при заданном направлении тока в каждой катушке потоки самоиндукции и взаимной индукции одинаково направлены. Следовательно, катушки включены согласно. Заданная цепь может быть представлена схемой замещения, показанной на рис. 16, б. Составим для нее уравнение по второму закону Кирхгофа:

$$\dot{U} = R_1 \dot{I} + j\omega L_1 \dot{I} + j\omega M \dot{I} + R_2 \dot{I} + j\omega L_2 \dot{I} + j\omega M \dot{I}$$

Эквивалентное комплексное сопротивление цепи

$$\underline{Z} = R_1 + j\omega L_1 + R_2 + j\omega L_2 + 2j\omega M = 5 + j12 = 13e^{j67^{\circ}20'} \text{ Ом.}$$

Искомый ток

$$\dot{I} = \dot{U} / \underline{Z} = 130 / (13e^{j67^{\circ}20'}) = 10e^{-j67^{\circ}20'} \text{ А.}$$

Комплексные напряжения между точками a и b , c и d равны:

$$\dot{U}_{ab} = (R_1 + j\omega L_1 + j\omega M) \dot{I} = (2 + j4)10e^{-j67^{\circ}20'} = 44,7e^{-j3^{\circ}50'} \text{ В;}$$

$$\dot{U}_{cd} = (R_2 + j\omega L_2 + j\omega M) \dot{I} = (3 + j8)10e^{-j67^{\circ}20'} = 85,5e^{j2^{\circ}05'} \text{ В.}$$

На рис. 16, в представлена векторная диаграмма. По действительной оси отложен вектор напряжения, от него в сторону отставания на $67^{\circ}20'$ направлен вектор тока, затем отложены векторы падения напряжения в каждой из катушек.

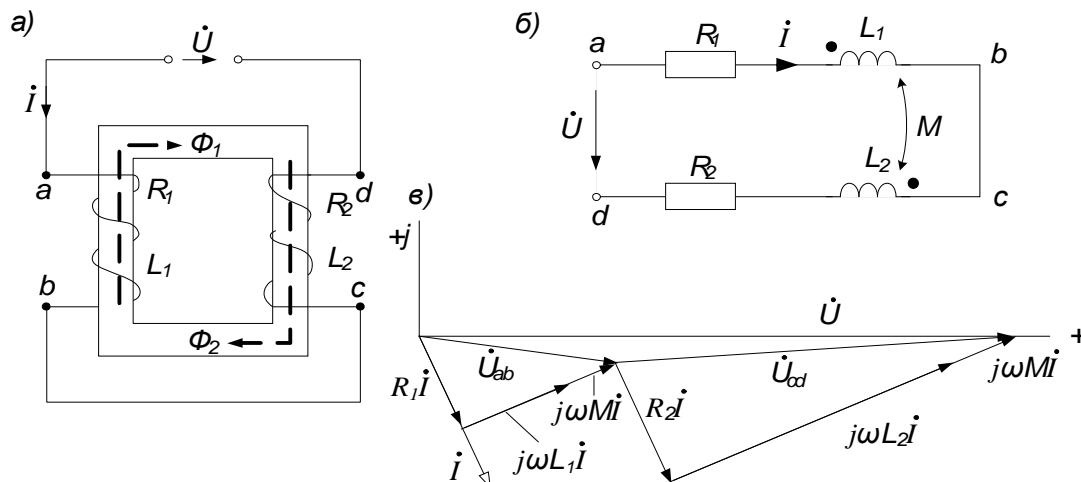


Рис.16

Трехфазные цепи

При изучении этого раздела особое внимание необходимо обратить на преимущества, которые дает трехфазная система по сравнению с однофазной. Рассматривая схемы соединения обмоток генераторов, надо уяснить связь между фазными и линейными напряжениями в схеме соединения звездой, а также связь между фазными и линейными токами в схеме соединения треугольником.

Необходимо четко представить, что в трехфазной цепи могут быть два режима: симметричный и несимметричный. Расчет трехфазной цепи в симметричном режиме сводится к расчету для одной фазы и производится аналогично расчету однофазной цепи с одним источником. Трехфазная цепь может рассматриваться как разветвленная цепь с тремя источниками питания, и для ее расчета применяются методы, используемые при расчете электрических цепей с несколькими источниками. Например, если несимметричный приемник соединен без нейтрального провода, то для расчета трехфазной цепи можно применить метод узлового напряжения в комплексной форме.

После изучения настоящего раздела студенты должны:

1) знать основные элементы трехфазных цепей, способы соединения фаз обмотки генератора и включения в трехфазную цепь приемников; способы изображения трехфазной симметричной системы э.д.с;

2) понимать роль нейтрального провода; принципы построения потенциальных диаграмм; влияние рода и схемы включения нагрузки на величину тока в нейтральном проводе, схемы электроснабжения предприятий;

3) уметь анализировать различные режимы симметричных и несимметричных цепей; читать схемы соединения трехфазных и однофазных приемников; предвидеть последствия коммутационных изменений в цепи на ее электрическое состояние.

Задача 1. В трехфазную сеть с линейным напряжением $U_{\text{л}} = 220$ В включен приемник, соединенный треугольником, сопротивление каждой фазы которого $\underline{Z} = (10 + j10)$ Ом (рис. 17). Найти токи в каждой фазе нагрузки и линии и показания каждого ваттметра. Построить векторную диаграмму. Найти те же величины при обрыве цепи в точке d .

Решение. Расчет токов в трехфазных цепях производится комплексным методом. Примем, что вектор линейного напряжения \underline{U}_{AB} направлен по действительной оси, тогда

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_{ab} = 220 \text{ В}; \quad \underline{U}_{BC} = \underline{U}_{bc} = 220e^{-j120^\circ} \text{ В}; \quad \underline{U}_{CA} = \underline{U}_{ca} = 220e^{j120^\circ} \text{ В}.$$

Определяем фазные токи:

$$\underline{I}_{ab} = \underline{U}_{ab} / \underline{Z} = 220 / (10 + j10) = 15,6e^{j-45^\circ} = 11 - j11 \text{ А};$$

$$\underline{I}_{cb} = \underline{U}_{bc} / \underline{Z} = 220e^{-j120^\circ} / (10 + j10) = 15,6e^{j-165^\circ} = -15 - j4,03 \text{ А};$$

$$\underline{I}_{ca} = \underline{U}_{ca} / \underline{Z} = 220e^{j120^\circ} / (10 + j10) = 15,6e^{j75^\circ} = 4,03 - j15 \text{ А}.$$

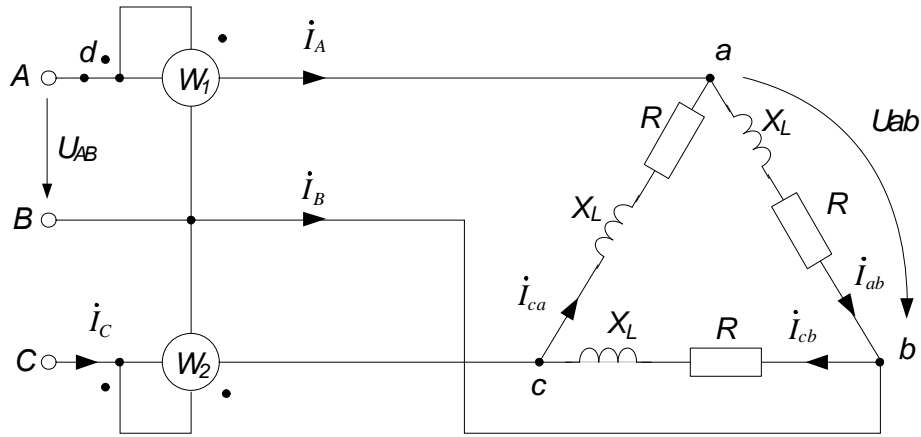


Рис.17

Находим линейные токи:

$$\underline{I}_{AB} = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca} = 6,97 - j26 = 26,9e^{-j75^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_{BC} = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab} = -26 + j6,97 = 26,9e^{-j165^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_{CA} = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc} = 19 + j19 = 26,9e^{j45^\circ} \text{ A}.$$

Определяем показания ваттметров:

$$P_1 = \text{Re}[\underline{U}_{AB} \underline{I}_A] = \text{Re}[220 \cdot 26,9e^{j75^\circ}] = 220 \cdot 26,9 \cos 75^\circ = 1530 \text{ Вт};$$

$$P_2 = \text{Re}[\underline{U}_{CB} \underline{I}_C] = \text{Re}[-220e^{-j120^\circ} \cdot 26,9e^{-j45^\circ}] = \text{Re}[-220e^{j60^\circ} \cdot 26,9e^{-j45^\circ}] = \\ = 220 \cdot 26,9 \cos 15^\circ = 5730 \text{ Вт}.$$

Активную мощность цепи (алгебраическая сумма показаний ваттметров)

$$P = P_1 + P_2 = 1530 + 5730 = 7260 \text{ Вт}.$$

ИЛИ

$$P = \sqrt{3}U_{л} I_{л} \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 26,9 \cos 45^\circ = 3RI_{\phi}^2 = 7260 \text{ Вт}.$$

На рис. 18 приводится векторная диаграмма напряжений и токов. При обрыве в точке *d* токи в фазах нагрузки будут:

$$\underline{I}_{bc} = \underline{U}_{bc} / \underline{Z} = 220e^{-j120^\circ} / (10 + j10) = -15 - j4,03 \text{ A};$$

$$\underline{I}_{ab} = \underline{I}_{ca} = \underline{U}_{cd} / 2\underline{Z} = -220e^{-j120^\circ} / 2(10 + j10) = 7,5 + j2,02 \text{ A}.$$

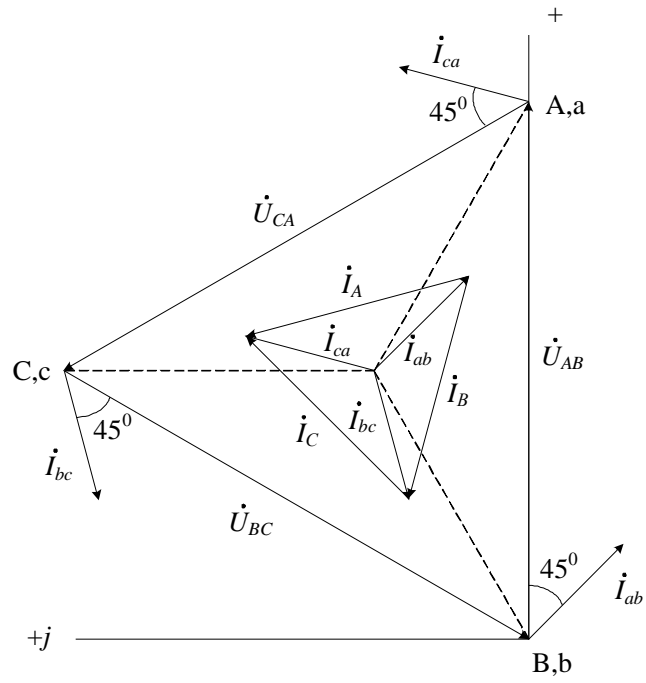


Рис.18

Вычислим линейные токи:

$$\dot{I}_A = 0; \dot{I}_C = -\dot{I}_B = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc} = 22,5 + j6,05 = 23,3e^{j15^\circ} \text{ A.}$$

Находим показания ваттметров:

$$P_1 = 0; P_2 = \text{Re}[\dot{U}_{cb} \dot{I}_C] = \text{Re}[220e^{j60^\circ} \cdot 23,3e^{-j15^\circ}] = 220 \cdot 23,3 \cos 45^\circ = 3630 \text{ Вт.}$$

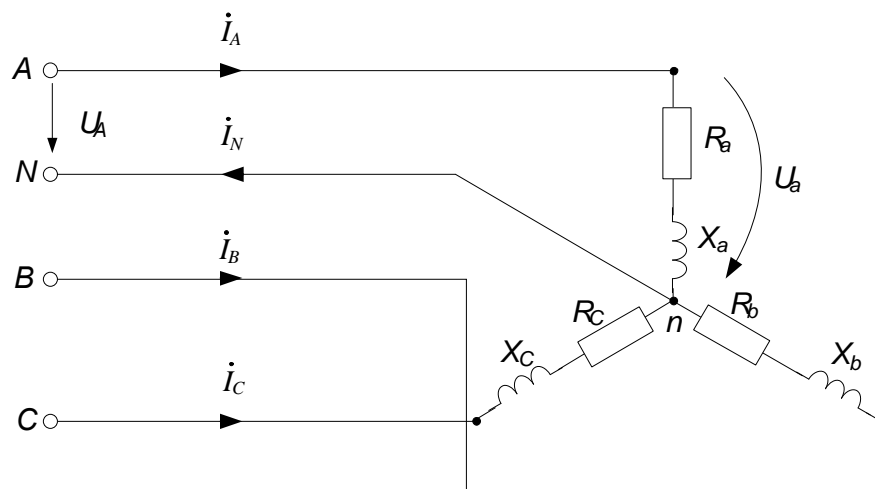


Рис.19

Задача 2. В четырехпроводную трехфазную сеть с линейным напряжением $U_{л} = 220$ В включен звездой приемник, активные и индуктивные сопротивления фаз которого соответственно равны: $R_a = 3$ Ом, $X_a = 4$ Ом, $R_b = 3$ Ом, $X_b = 5,2$ Ом, $R_c = 4$ Ом, $X_c = 3$ Ом (рис. 19). Определить токи в линейных и нейтральном проводах и построить векторную диаграмму.

Решение. Считаем, что вектор фазного напряжения \dot{U}_a направлен по действительной оси, тогда

$$\dot{U}_a = U_{л} / \sqrt{3} = 127 \text{ В}, \quad \dot{U}_b = 127 e^{-j120^\circ} \text{ В}, \quad \dot{U}_c = 127 e^{j120^\circ} \text{ В}.$$

Находим линейные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{U}_a / \underline{Z}_a = 127 / (3 + j4) = 127 / (5 e^{j53^\circ}) = 25,4 e^{-j53^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_B = \dot{U}_b / \underline{Z}_b = 127 e^{-j120^\circ} / (3 + j5,2) = 127 e^{-j120^\circ} / 15,6 e^{j165^\circ} = 21,2 e^{-j180^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_C = \dot{U}_c / \underline{Z}_c = 127 e^{j120^\circ} / (4 + j3) = 127 e^{j120^\circ} / 5 e^{j37^\circ} = 25,4 e^{j83^\circ} \text{ А}.$$

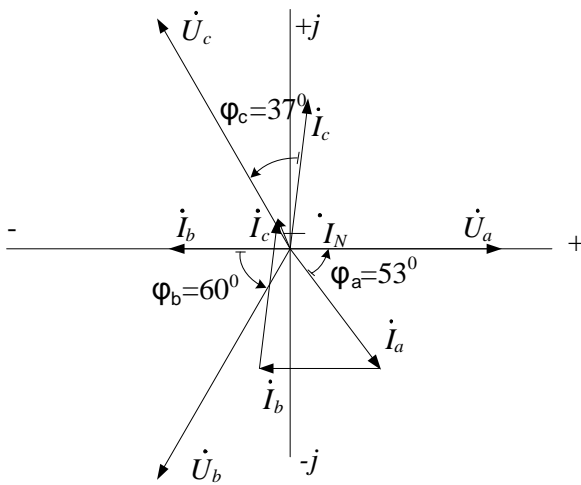


Рис.20

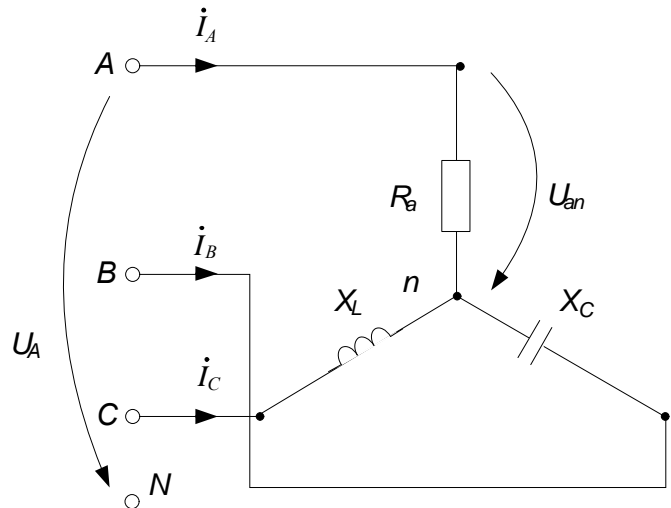


Рис.21

Ток в нейтральном проводе определяется как геометрическая сумма линейных токов по первому закону Кирхгофа:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 25,4 e^{-j53^\circ} + 21,2 e^{-j180^\circ} + 25,4 e^{j83^\circ} = 5,9 e^{j124^\circ} \text{ А}.$$

Векторная диаграмма показана на рис. 20.

При несимметричной нагрузке для определения активной мощности находят мощность каждой фазы отдельно: $P_\phi = U_\phi I_\phi \cos \varphi$, а мощность всей трехфазной системы получают как сумму мощностей всех фаз или используют схему включения двух ваттметров.

Задача 3. В трехфазную сеть с линейным напряжением $U_{л} = 380$ В включен звездой приемник, активное, индуктивное и емкостное сопротивления фаз которого равны: $R_a = |X_L| = |X_C| = 22$ Ом (рис. 21). Определить токи и построить векторную диаграмму.

Решение. Расчет токов производим комплексным методом. Находим фазные напряжения генератора:

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 380 / 1,73 = 220 \text{ В.}$$

$$U_A = 220 \text{ В, } U_B = 220e^{-j120} = (-110 - j191) \text{ В, } U_C = 220e^{j120} = (-110 + j191) \text{ В.}$$

Определяем напряжение между нейтральными точками приемника и источника питания:

$$\begin{aligned} U_{nN} &= \frac{Y_a U_A + Y_b U_B + Y_c U_C}{Y_a + Y_b + Y_c} = \\ &= \frac{\frac{1}{22} \cdot 220 + j \frac{1}{22} (-110 - j191) - j \frac{1}{22} (-110 + j191)}{\frac{1}{22} + j \frac{1}{22} - j \frac{1}{22}} = 602 \text{ В.} \end{aligned}$$

Находим напряжения на зажимах фаз приемника по второму закону Кирхгофа:

$$U_{an} = 220 - 602 = -382 \text{ В;}$$

$$U_{bn} = (-110 - j191) - 602 = (-712 - j191) \text{ В;}$$

$$U_{cn} = (-110 + j191) - 602 = (-712 + j191) \text{ В.}$$

и фазные (линейные) токи:

$$I_a = U_{an} / R_a = -382 / 22 = -17,3 \text{ А;}$$

$$I_b = U_{bn} / (-jX_C) = (-712 - j191) / (-j22) = (8,68 - j32,4) \text{ А;}$$

$$I_c = U_{cn} / (jX_L) = (-712 + j191) / j22 = (8,68 + j32,4) \text{ А.}$$

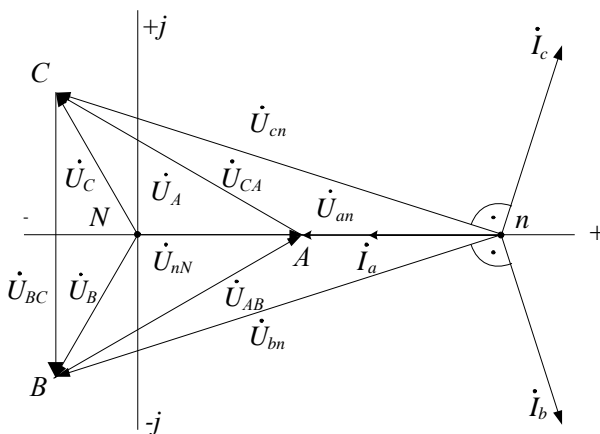


Рис.22

Векторная диаграмма изображена на рис. 22.

Для подсчета активной мощности в данной схеме можно воспользоваться уравнениями, записанными для схемы включения двух ваттметров. Из рассмотрения этой задачи следует, что напряжения на зажимах фаз приемника получаются неодинаковыми. Поэтому несимметричные приемники (бытовые и т. д.) соединяют либо четырехпроводной звездой, либо треугольником.

Переходные процессы в линейных электрических цепях

После изучения данного раздела студенты должны:

- 1) знать законы изменения токов и напряжений в простейших электрических цепях при переходном процессе, решение уравнений электрического состояния цепи при переходном процессе;
- 2) понимать причины возникновения переходных процессов в электрических цепях; законы коммутации; характер изменения токов и напряжений в электрических цепях при переходных процессах; смысл и, значение постоянной времени;
- 3) уметь составлять уравнения электрического состояния линейных электрических цепей при переходных процессах; определять постоянную времени простейших электрических цепей; определять закон изменения токов и напряжений в простейших линейных электрических цепях при переходных процессах.

Переходный (неустановившийся) процесс возникает в электрической цепи как в результате изменения параметров цепи, так и при негармоническом изменении значения приложенного напряжения.

Изучая переходные процессы, определяем закономерности изменения тока и напряжения в элементах электрических цепей в функции времени при переходе от одного установившегося состояния к другому. Этот переход сопровождается изменением энергии магнитного поля в индуктивной катушке $W_L = Li^2/2$ и энергии электрического поля в конденсаторе $W_C = Cu^2/2$. Эти энергии не могут изменяться скачком, так как мощность, равная производной энергии по времени, $P = dW/dt$ должна в этом случае достигнуть бесконечно большого значения, что практически невозможно. Следовательно, если не могут скачком измениться энергии W_L и W_C , то не могут меняться скачком ток i в ветви с индуктивной катушкой L и напряжение u на конденсаторе C , что и обуславливает законы коммутации: $[i_L(0) = i_L(-0); u_C(0) = u_C(-0)]$.

Для цепи, состоящей из трех последовательно соединенных элементов с параметрами R , L и C , уравнение, составленное по второму закону Кирхгофа, для мгновенных напряжений и тока имеет следующий вид:

$$u = L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int idt. \quad (9)$$

Это уравнение справедливо для любого момента времени, а следовательно, как для установившегося состояния, так и для переходного процесса. Уравнение (9) является неоднородным и его общий интеграл можно представить как сумму частного решения данного уравнения и его общего решения при равенстве нулю правой части.

Решением уравнения для переходного процесса являются показательные и тригонометрические функции, играющие главенствующую роль при исследовании переходных процессов. Представим себе, что уравнение (9) рассматривается для установившегося состояния. Назовем ток установившегося состояния «установившимся» током и обозначим через i_y , тогда уравнение (9) примет вид

$$u = L \frac{di_y}{dt} + Ri_y + \frac{1}{C} \int i_y dt. \quad (10)$$

Вычитая (10) из (9), получаем

$$0 = L \frac{d(i_{\text{пер}} - i_y)}{dt} + R(i_{\text{пер}} - i_y) + \frac{1}{C} \int (i_{\text{пер}} - i_y) dt. \quad (11)$$

В полученном уравнении разность токов ($i_{\text{пер}} - i_y$) является не чем иным, как некоторым током, который существует в электрической цепи только во время переходного процесса; напряжение u равно нулю и ток ($i_{\text{пер}} - i_y$) существует как бы независимо от приложенного к цепи внешнего напряжения. Этот ток называют «свободным» и обозначают через $i_{\text{св}} = i_{\text{пер}} - i_y$.

Откуда

$$i_{\text{пер}} = i_y + i_{\text{св}}. \quad (11a)$$

Как показывает выражение (11a), ток переходного процесса может быть получен как сумма двух токов, одним из которых является ток установившегося состояния i_y , определяемый как частное решение дифференциального уравнения (9), а вторым — ток, определяемый как общее решение соответствующего однородного уравнения.

Заменяя ($i_{\text{пер}} - i_y$) в уравнении (11) на $i_{\text{св}}$, получаем однородное дифференциальное уравнение для определения свободного тока:

$$0 = L \frac{di_{\text{св}}}{dt} + Ri_{\text{св}} + \frac{1}{C} \int i_{\text{св}} dt. \quad (11б)$$

Таким образом, для исследования переходного процесса в последовательной цепи составляется дифференциальное уравнение, описывающее переходный процесс (9), уравнение, определяющее собой ток установившегося состояния (10), и однородное дифференциальное уравнение для свободного тока (11б).

Для решения однородного дифференциального уравнения свободного тока составляется характеристическое уравнение, для чего однородное дифференциальное уравнение свободного тока записывают в алгебраической форме путем замены производной d/dt через оператор p , а интеграла $\int dt$ через $1/p$.

Произведя указанные операции над уравнением (11б), получаем

$$0 = pLi_{\text{св}} + Ri_{\text{св}} + \frac{1}{pC} i_{\text{св}}.$$

Вынося за скобку $i_{\text{св}}$, находим

$$0 = (pL + R + \frac{1}{pC}) i_{\text{св}}.$$

Так как здесь $i_{\text{св}}$ не равен нулю, то $pL + R + 1/pC = 0$. Откуда получаем искомое характеристическое уравнение

$$p^2 + \frac{R}{L} p + \frac{1}{LC} = 0.$$

Показатель степени p определяет порядок дифференциального уравнения свободного тока. Таким образом, в цепи, состоящей из трех последовательно соединенных элементов с параметрами R , L и C , имеем дифференциальное уравнение второго порядка.

Определяем корни характеристического уравнения:

$$p_{1,2} = -R/2L \pm \sqrt{(R/2L)^2 - 1/LC}.$$

В зависимости от значения корней характеристического уравнения (соотношения между параметрами цепи R , L и C) будут получены следующие частные решения однородного дифференциального уравнения свободного тока:

1. Если $(R/2L)^2 > 1/LC$, то корни вещественные и разные

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

2. Если $(R/2L)^2 < 1/LC$, то корни сопряженные и комплексные

$$i_{CB} = e^{-dt} (A_1 \sin w't + A_2 \cos w't) = A e^{-dt} \sin(w't + g).$$

3. Если $(R/2L)^2 = 1/LC$, то корни равные ($p_1 = p_2 = p$)

$$i_{CB} = A_1 e^{pt} + A_2 t e^{pt} = (A_1 + A_2 t) e^{pt};$$

$$d = R/2L; \quad w' = \sqrt{1/(LC) - (R/2L)^2},$$

где A_1 , A_2 , A и γ — постоянные интегрирования, определяемые из начальных условий; p_1 и p_2 — корни характеристического уравнения.

Корни характеристического уравнения во втором случае соответственно равны: $p_1 = -\delta + j\omega'$, $p_2 = -\delta - j\omega'$.

Рассмотрим несколько задач.

Задача 1. Определить ток переходного процесса при подключении индуктивной катушки (последовательно соединенные элементы с параметрами R и L) к источнику постоянного напряжения и к источнику синусоидального напряжения.

Дано: $R=10$ Ом, $L = 0,1$ Гн для постоянного напряжения $U = 100$ В, для синусоидального напряжения $u=100 \sin(\omega t+30^\circ)$ В, $f = 50$ Гц.

Решение.1. Постоянное напряжение. Определяем ток установившегося состояния, т.е. ток, который протекает в цепи, когда переходной процесс уже закончился:

$$i_y = U / R = 100 / 10 = 10 \text{ А.}$$

Уравнение свободного тока

$$0 = R i_{CB} + L \frac{di_{CB}}{dt}.$$

Его характеристическое уравнение

$$0 = R + Lp.$$

откуда корень характеристического уравнения

$$p = -R/L = -10/0,1 = -100.$$

Свободный ток (А)

$$i_{CB} = Ae^{pt} = Ae^{-100t}.$$

Ток переходного процесса (А)

$$i_{\text{ПЕР}} = i_y + i_{CB} = 10 + Ae^{-100t}.$$

Определяем постоянную интегрирования A . Полагая $t = 0$ и учитывая, что ток в индуктивной катушке скачком возникнуть не может (цепь до начала переходного процесса была разомкнута, $i = -0$), получаем $i_{(t=0)} = i_{y(t=0)} + i_{CB(t=0)} = 10 + A$, откуда $A = -10$.

Таким образом, ток переходного процесса (А) будет равен:

$$i_{\text{ПЕР}} = 10 - 10e^{-100t}.$$

2. Синусоидальное напряжение. Определяем установившийся ток:

$$\underline{Z} = R + j\omega L = 10 + j2p \cdot 50 \cdot 0,1 = 10 + j31,4 = 33e^{j72^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{I}_{my} = \underline{U}_m / \underline{Z} = 100e^{j30^\circ} / 33e^{j72^\circ} \text{ А};$$

$$i_y = 3 \sin(\omega t - 42^\circ) \text{ А}.$$

Так как свободный, ток не зависит от напряжения, то воспользуемся его выражением, полученным в предыдущей задаче. Тогда ток переходного процесса (А)

$$i_{\text{пер}} = i_y + i_{CB} = 3 \sin(\omega t - 42^\circ) + Ae^{-100t}.$$

Определяем постоянную интегрирования A :

$$i_{(t=0)} = 3 \sin(\omega t - 42^\circ) + A = -2 + A = 0.$$

откуда $A = 2$

Таким образом, ток переходного процесса (А)

$$i = 3 \sin(\omega t - 42^\circ) + 2e^{-100t}.$$

Задача 2. Определить ток переходного процесса в цепи с последовательным соединением конденсатора и резистора при подключении ее как к источнику постоянного напряжения, так и к источнику синусоидального напряжения.

Дано: $R = 10 \text{ Ом}$, $C = 200 \text{ мкФ}$ для постоянного напряжения $U = 100 \text{ В}$, для синусоидального напряжения $u = 100 \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$.

Решение. 1. Постоянное напряжение. Установившийся ток в цепи с конденсатором, подключенной к постоянному напряжению, равен нулю, так как конденсатор, зарядившись до величины питающего напряжения, размыкает цепь.

Следовательно, ток переходного процесса определяется только свободным током.
Уравнение свободного тока

$$0 = Ri_{CB} + \frac{1}{C} \int i_{CB} dt.$$

Дифференцируя уравнение свободного тока, получаем

$$0 = R \frac{di_{CB}}{dt} + i_{CB} / C,$$

тогда характеристическое уравнение

$$0 = Rp + 1/C,$$

откуда корень характеристического уравнения

$$p = -1/RC = -10^6 / 10 \cdot 200 = -500.$$

Ток переходного процесса (А)

$$i_{\text{пер}} = i_{CB} = Ae^{pt} = Ae^{-500t}.$$

Определяем постоянную интегрирования A . Полагая $t=0$ и учитывая, что напряжение на конденсаторе скачком возникнуть не может (конденсатор до начала переходного процесса не был заряжен, $u_c(-0) = 0$), получаем

$$i_{(t=0)} = A = U/R = 100/10 = 10 \text{ А.}$$

Таким образом, ток переходного процесса (А)

$$i_{\text{пер}} = 10e^{-500t}.$$

2. Синусоидальное напряжение. Определяем установившийся ток

$$\underline{Z} = R - j \frac{1}{\omega C} = 10 - j \frac{10^6}{2\pi \cdot 50 \cdot 200} = 10 - j16 = 19e^{-j58^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{I}_{my} = \underline{U}_m / \underline{Z} = 100e^{j30^\circ} / 19e^{-j58^\circ} = 5,3e^{j88^\circ} \text{ А};$$

$$i_y = 5,3 \sin(\omega t + 88^\circ) \text{ А.}$$

Воспользуемся выражением для свободного тока из предыдущей задачи.
Тогда ток переходного процесса

$$i_{\text{пер}} = i_y + i_{CB} = 5,3 \sin(\omega t + 88^\circ) + Ae^{-500t} \text{ А.}$$

Определяем постоянную интегрирования A :

$$i_{(t=0)} = 5,3 \sin 88^\circ + A = 5,3 + A.$$

откуда, $A = i_{(t=0)} - 5,3$.

Найдем ток $i_{(t=0)}$ в момент включения:

$$i_{(t=0)} = u_{(t=0)}/R = 100 \sin 30^\circ / 10 = 5 \text{ А.}$$

следовательно, $A = 5 - 5,3 = -0,3$

Таким образом, ток переходного процесса

$$i_{\text{пер}} = 5,3 \sin(\omega t + 88^\circ) - 0,3e^{-500t} \text{ А.}$$

Задача 3. Определить емкость C конденсатора в цепи с последовательным соединением резистора и конденсатора, включенной на постоянное напряжение $U_0=200$ В, из условия, что через время $t = T_1 = 30$ мс после включения напряжение на конденсаторе при заряде его через резистор с сопротивлением $R = 5$ мОм достигнет значения $U_{C1}=30$ В. Найти значение тока i_C в момент $t = T_1$.

Решение. Выражение для напряжения на конденсаторе во время переходного процесса в рассматриваемой цепи имеет вид $u_C=U_0(1 - e^{-t/RC})$. Из этого выражения определим значение емкости конденсатора C . При $t = T_1 = 30$ мс, $u_{C(t=T_1)}=U_{C1} = 30$ В, следовательно, $30=200(1 - e^{-T_1/RC})$, откуда $e^{-T_1/RC} = 170/200 = 0,85$. Отсюда $-T_1/RC = \ln 0,85 = \ln 85 - \ln 10 = 2,14 - 2,3 = -0,16$, т. е. $T_1=0,16RC= 30$ мс. Окончательно

$$C = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{0,16 \cdot 5 \cdot 10^6} = 0,037 \text{ мкФ.}$$

Выражение для тока в цепи запишем в виде

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} = \frac{U_0}{R} e^{-t/(RC)}.$$

Подставляя в это выражение значения U_0 , R , C и $t=T_1 = 30$ мс, находим

$$i_{C1} = \frac{U_0}{R} e^{-T_1/(RC)} = \frac{200}{5 \cdot 10^6} e^{-0,16} = 34,2 \text{ мкА.}$$

Периодические несинусоидальные токи в электрических цепях

При изучении настоящего раздела необходимо усвоить, что источников с абсолютно постоянной или синусоидальном э. д. с. не существует. Различные источники энергии в силу ряда причин создают пульсирующие, медленно меняющиеся или незначительно отличающиеся от синусоидальной формы напряжения.

Причинами появления несинусоидальных токов являются:

- 1) несовершенство источников постоянной и синусоидальной э. д. с;
- 2) подключение к линейной цепи генераторов, создающих специальную форму напряжения;

- 3) наличие различного рода нелинейных элементов в электрической цепи.

После изучения данного раздела студенты должны:

- 1) знать значение терминов: электрический фильтр, амплитудно-частотный и фазо-частотный спектры, коэффициент пульсаций, коэффициент искажения формы кривой; назначение сглаживающего, полосового, заградительного, избирательного фильтров;

- 2) понимать причины возникновения несинусоидальных токов; принцип работы дифференцирующих и интегрирующих цепей, влияние формы кривой тока и напряжения на показания приборов различных систем;

3) уметь анализировать электрическое состояние линейной цепи несинусоидального тока методом суперпозиции, работу простейших фильтров.

При расчете цепей, находящихся под воздействием периодических несинусоидальных значений, необходимо знать способы их представления: 1) графики зависимости мгновенных несинусоидальных токов и напряжений от времени; 2) аналитический способ разложения периодических функций в ряд Фурье, из которого для практических целей берут ограниченное число первых членов ряда. В разложении в ряд Фурье в общем случае представлены постоянная составляющая, основная (первая) гармоническая составляющая, имеющая период, равный периоду данного несинусоидального воздействия, высшие гармонические составляющие и их начальные фазы. Основную и высшие гармонические составляющие обычно называют просто гармониками. Амплитуды и начальные фазы гармоник определяют спектральный состав несинусоидальной кривой, который может быть представлен в виде диаграмм амплитудно-частотного спектров.

При анализе электрических цепей с несинусоидальными напряжениями и токами имеют дело с действующими значениями:

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2};$$

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}.$$

Таким образом, действующее значение несинусоидального напряжения или тока равно корню, квадратному из суммы квадратов постоянной составляющей и действующих значений всех гармоник несинусоидального напряжения или тока.

Действующее значение каждой гармоники: $U_k = U_{km} / \sqrt{2}$.

Среднее значение мощности при несинусоидальных напряжениях и токах равно сумме средних значений мощностей от постоянной составляющей и каждой гармоники тока и напряжения:

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots + U_n I_n \cos \varphi_n.$$

Форму периодических несинусоидальных кривых принято характеризовать некоторыми коэффициентами: амплитуды K_a , формы K_Φ , искажения K_{II} и др. Разложение в ряд Фурье позволяет заменить (на основании принципа суперпозиции) реальный источник несинусоидального напряжения совокупностью последовательно включенных источников. Таким образом, мгновенные искомые токи и напряжения определяют путем суммирования найденных в результате расчета постоянных и гармонических составляющих тока или напряжения. При расчете цепей следует учитывать, что сопротивления емкостного и индуктивного элементов зависят от частоты: сопротивление индуктивного элемента возрастает с увеличением номера гармоники, т. е. $X_{L(k)} = k\omega L$, а сопротивление емкостного элемента уменьшается с увеличением порядкового номера гармоники, т. е. $X_{C(k)} = 1/k\omega C$. В тех случаях, когда требуется по условиям работы электрических цепей изменить форму кривой тока или напряжения, применяются специальные устройства, содержащие индуктивные катушки и конденсаторы. Эти устройства называют электрическими фильтрами.

Задача 1. Для кривой напряжения однополупериодного выпрямления $u(\omega t) = U_m \sin \omega t$ (рис. 23).

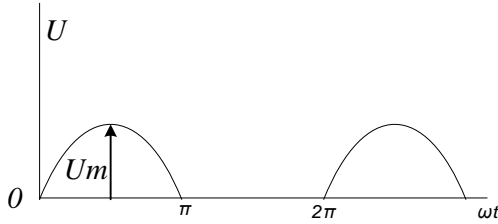


Рис.23

Найти действующее напряжение путем непосредственного интегрирования. Сравнить найденный результат с расчетом по гармоникам ряда Фурье, учитывая только: а) первый член ряда, б) первые три члена ряда. Оценить погрешность δ в процентах. Определить коэффициенты K_a , K_Φ , K_H .

Разложение в ряд Фурье данной

кривой (рис. 23):

$$u(\omega t) = \frac{2U_{\max}}{p} \left(\frac{1}{2} + \frac{p}{4} \cos \omega t + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t + \mathbf{K} \right)$$

Решение. Находим действующее и среднее напряжения непосредственным интегрированием

$$U = \sqrt{\frac{1}{2p} \int_0^p U_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{\frac{U_m^2}{2p} \left(\frac{1}{2} \omega t - \frac{1}{4} \sin 2\omega t \right) \Big|_0^p} = \sqrt{\frac{U_m^2 p}{2p} \frac{1}{2}} = \frac{U_m}{2};$$

$$U_{CP} = \frac{1}{2p} \int_0^p U_m \sin \omega t d\omega t = -\frac{U_m}{2p} \cos \omega t \Big|_0^p = \frac{U_m}{p}.$$

Учитывая только первый член разложения в ряд Фурье, оценим погрешность

$$U' = U_m / p;$$

$$d' = (U - U') / U \cdot 100\% = \frac{U_m / 2 - U_m / p}{U_m / 2} \cdot 100\% = 36,3\%.$$

С учетом первых трех членов разложения

$$U'' = U_m \sqrt{\left(\frac{1}{p}\right)^2 + \left(\frac{1}{2\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{1}{3p\sqrt{2}}\right)^2} = 0,499U_m;$$

$$d'' = \frac{U - U''}{U} \cdot 100\% = \frac{U_m / 2 - 0,499U_m}{U_m / 2} \cdot 100\% = 0,2\%.$$

Получаем погрешность, вполне допустимую при инженерных расчетах. Таким образом, остальными членами разложения в ряд Фурье можно пренебречь.

Определяем коэффициенты, характеризующие форму кривой напряжения:

$$K_a = U_m / U = U_m / (U_m / 2) = 2;$$

$$K_\Phi = U / U_{CP} = U_m p / (2U_m) = p / 2 = 1,57;$$

$$K_H = U_1 / U = 2U_m / (2\sqrt{2}U_m) = 0,707.$$

Задача 2. Определить емкости конденсаторов C_1 и C_2 (рис. 24), при которых фильтр не будет пропускать в нагрузочное устройство (приемник) пятую гармонику тока и не будет оказывать сопротивления третьей гармонике, если частота основной гармоники $f=1$ кГц.

Дано: $L_1 = L_2 = 1$ мГн.

Решение. Чтобы исключить пятую гармонику тока в нагрузке, сопротивление фильтра для этой гармоники должно быть равно бесконечности. Для этого параллельный участок фильтра должен быть настроен на резонанс токов для пятой гармоники, т. е. $5\omega C_2 = 1/5\omega L_2$, отсюда $C_2 = 1/25\omega^2 L_2 = 1$ мкФ,

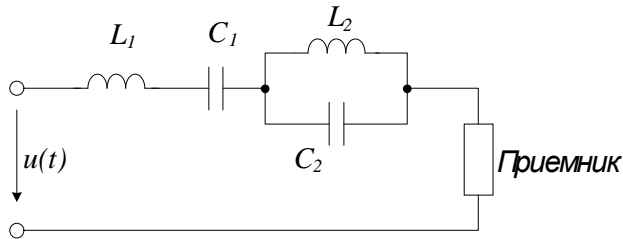


Рис.24

Чтобы в нагрузке выделить третью гармонику тока, необходимо обеспечить условие резонанса напряжений на третьей гармонике в целом для фильтра, т. е.

$$3\omega L_1 - \frac{1}{3\omega C_1} + \frac{3\omega L_2 \left(-\frac{1}{3\omega C_2} \right)}{-\frac{1}{3\omega C_2} + 3\omega L_2} = 0,$$

отсюда $C_1 = 1,1$ мкФ.

Задача 3. Найти показания приборов электромагнитной системы (рис. 25) и записать выражение для мгновенного тока i_2 . Дано: $R=5$ Ом, $X_{L_{1(t)}}=1$ Ом, $X_{L_{2(t)}}=8$ Ом, $X_{C_{1(t)}}=9$ Ом, $u(t)=20+10\sin \omega t+50\sqrt{2} \sin (3\omega t+30^\circ)$ В.

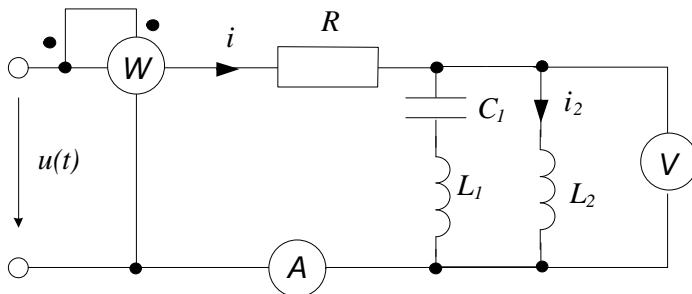


Рис.25

Решение. Находим токи, напряжения и активную мощность в ветвях от действия постоянной составляющей:

$$U_{(0)}=20 \text{ В}; I_{(0)}= U_{(0)}/R=20/5=4$$

$$\text{А}; I_{2(0)}= I_{(0)}= 4 \text{ А}; I_{A(0)}= 4 \text{ А};$$

$$U_{V(0)}=0;$$

$$P_{(0)}= U_{(0)} I_{(0)}=20 \cdot 4 = 80 \text{ Вт.}$$

От действия первой гармоники имеем: $u_{(1)}=10\sin \omega t$ В; $U_{(1)}=10/\sqrt{2}$ В.

Комплексные сопротивления ветвей:

$$\underline{Z}_{1(1)}=jX_{L_{1(t)}}-jX_{C_{1(t)}}=j-j9= -j8 \text{ Ом}; \underline{Z}_{2(1)}=jX_{L_{2(t)}}=j8 \text{ Ом.}$$

В параллельном контуре- резонанс токов, поэтому $I_{(1)}=0$; $P_{(1)}=0$; $U_{V(1)}=U_{(1)}=10/\sqrt{2}$ В

$$\underline{\mathcal{I}}_{2(1)}= \underline{U}_{(1)} / (jX_{L_{2(1)}}) = 10 / (\sqrt{2} \cdot j8) = 0,89 e^{-90^\circ} \text{ А};$$

$$i_2 = 1,25 \sin(\omega t - 90^\circ) \text{ A};$$

В результате воздействия третьей гармоники получаем

$$u_{(3)} = 50\sqrt{2} \sin(3\omega t + 30^\circ) \text{ В}; U_{(3)} = 50e^{j30} \text{ В}; U_{(3)} = 50 \text{ В}.$$

Комплексные сопротивления ветвей: $Z_{1(3)} = j3X_{L1(1)} - j1/3 \cdot X_{C1(1)} = j3 - j3 = 0$, следовательно, в последовательном контуре режим резонанса напряжений

$$Z_{2(3)} = j3X_{L2(1)} = j24 \text{ Ом}; I_{2(3)} = 0; U_{V(3)} = 0; I_{(3)} = U_{(3)}/R = 10e^{j30} \text{ В};$$

$$I_{(3)} = U_{(3)}/R = 50/5 = 10 \text{ А}; I_{A(3)} = 10 \text{ А}; P_{(3)} = U_{(3)} I_{(3)} \cos \varphi_{(3)} = RI_{(3)}^2 = 5 \cdot 100 = 500 \text{ Вт}.$$

Выражение для мгновенного тока i_2 находим путем суммирования отдельных гармоник по принципу суперпозиции:

$$i_2 = i_{2(0)} + i_{2(1)} + i_{2(3)} = 4 + 1,25 \sin(\omega t - 90^\circ) \text{ А}.$$

Амперметр и вольтметр электромагнитной системы показывают соответственно действующие величины тока и напряжения

$$I_A = \sqrt{I_{A(0)}^2 + I_{A(1)}^2 + I_{A(3)}^2} = \sqrt{16 + 0 + 100} = 10,8 \text{ А};$$

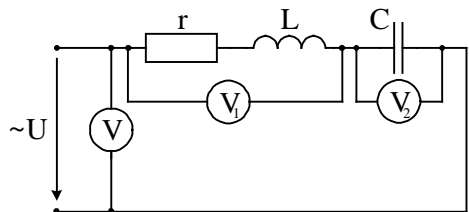
$$U_V = \sqrt{U_{V(0)}^2 + U_{V(1)}^2 + U_{V(3)}^2} = \sqrt{0 + 100/2 + 0} = 7,07 \text{ А}.$$

Ваттметр показывает среднее за период значение мощности, т. е, активную мощность

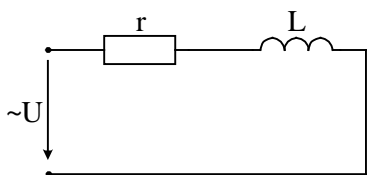
$$P = P_{(0)} + P_{(1)} + P_{(3)} = 80 + 0 + 500 = 580 \text{ Вт}.$$

2. ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

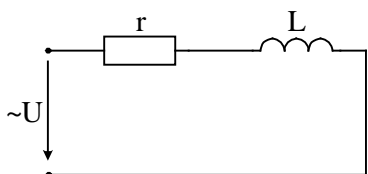
1. Однофазные цепи переменного тока.



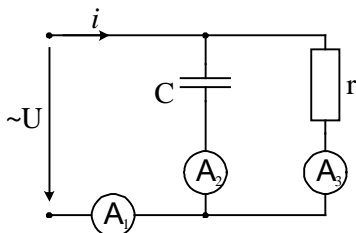
1. Определить U_{V1} , U_{V2} , U_V , если:
 $i = 2\sin\omega t$, $r = 10 \text{ Ом}$, $x_L = 20 \text{ Ом}$, $x_C = 10 \text{ Ом}$.



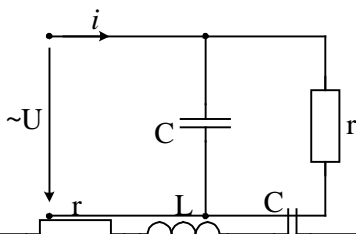
2. Определить P , Q , S , коэффициент мощности, если:
 $U = 14\sin\omega t$, $x_L = 10 \text{ Ом}$, $r = 10 \text{ Ом}$.



3. Определить $U(t)$, если:
 $r = 5 \text{ Ом}$, $L = 40 \text{ мГ}$,
 $U_L = 240\sin(1000t + 150)$.



4. Определить I_2 , если:
 $I_1 = 2 \text{ А}$, $I_3 = 1.6 \text{ А}$.

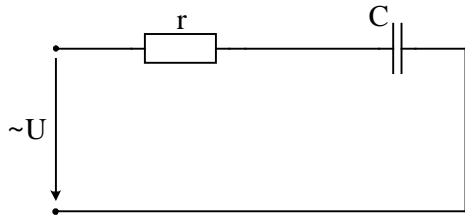


5. Определить x_C и коэффициент мощности схемы, если:
 $U = 40 \text{ В}$, $I = 8 \text{ А}$, $r = 10 \text{ Ом}$.

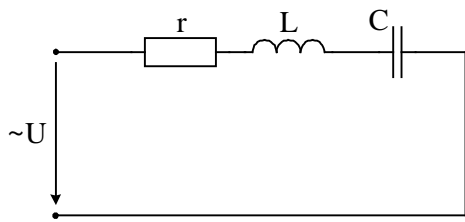


6. Определить $i(t)$, если:

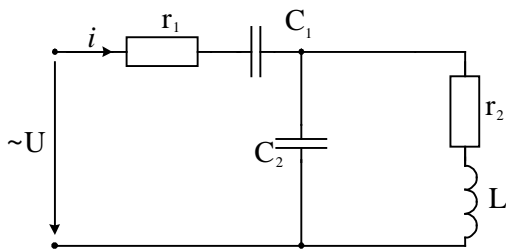
$$r=10 \text{ Ом}, \quad x_L=20 \text{ Ом}, \quad x_C=10 \text{ Ом}, \\ U=141\sin(\omega t+60).$$



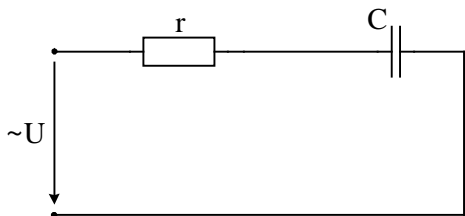
7. Определить $i(t)$, если:
 $r=10 \text{ Ом}, \quad x_C=10 \text{ Ом},$
 $U=141\sin\omega t.$



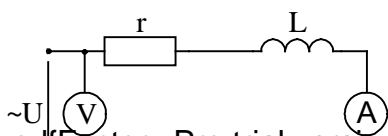
8. Определить закон изменения тока в цепи $i(t)$, если:
 $r=5 \text{ Ом}, \quad x_L=10 \text{ Ом}, \quad x_C=15 \text{ Ом},$
 $U=141\sin(\omega t+30).$



9. Записать закон Ома в общем виде для тока i .

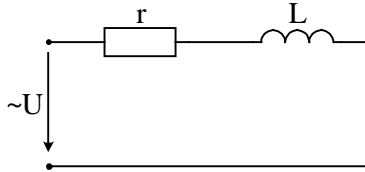


10. Определить $U(t)$, если:
 $r=10 \text{ Ом}, \quad x_C=10 \text{ Ом}, \quad i=2\sin(\omega t+40).$

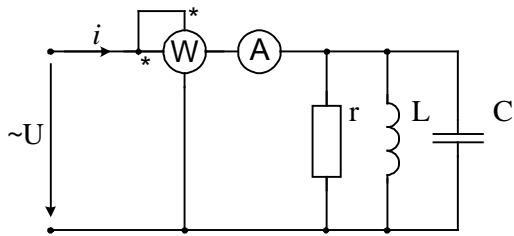


11. Определить показания приборов, если:

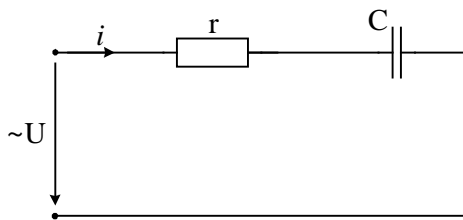
$$r=5 \text{ Ом}, \quad x_L=5 \text{ Ом}, \quad U=141\sin(\omega t+30).$$



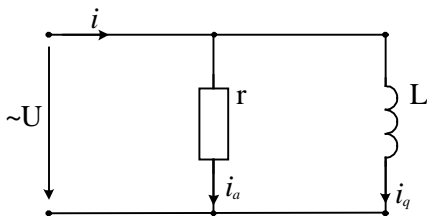
12. Определить $i(t)$, если:
 $r=5 \text{ Ом}$, $L=10 \text{ мГн}$,
 $U=141\sin(1000t+30)$.



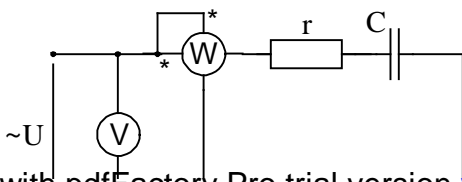
13. Определить I_A , P_W , если:
 $|r|=|x_L|=|x_C|=2 \text{ Ом}$,
 $U=200\sqrt{2}\sin\omega t$.



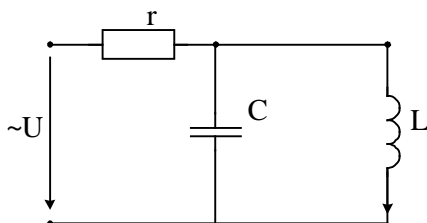
14. Определить $U_C(t)$, если:
 $r=12 \text{ Ом}$, $x_C=16 \text{ Ом}$,
 $U(t)=120\sin(1000t+60)$.



15. Определить I , если:
 $b_L=2 \text{ Ом}^{-1}$, $I_a=1.5 \text{ А}$, $q=1.5 \text{ Ом}^{-1}$.

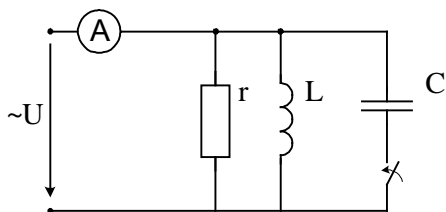


16. Определить x_C и коэффициент мощности схемы, если:
мощность, потребляемая цепью $P=250$ Вт,
 $U=100$ В, $r=10$ Ом.



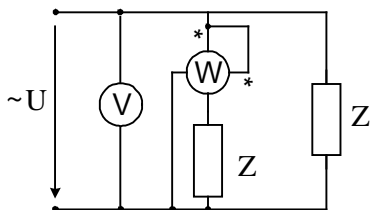
17. Определить действующее значение напряжения на активном сопротивлении, если:
 $r=10$ Ом, $x_L=5$ Ом, $x_C=5$ Ом,
 $U(t)=141\sin\omega t$. Указать правильный ответ:

1. $U_r=100$ В
2. $U_r=0$ В
3. $U_r=80$ В
4. $U_r=20$ В
5. $U_r=141$ В.



18. Как изменится показание амперметра после замыкания рубильника? Если: $u(t)=U_m\sin\omega t$,
 $r=|x_L|=|x_C|$. Указать правильный ответ:

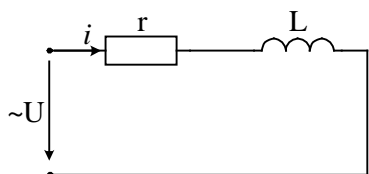
1. Не изменится
2. Увеличится в 2 раза
3. Уменьшится в 2 раза.



19. Определить показания ваттметра, если:
 $I=10$ А, $U=100$ В, $Z=r+jX$, $r=1/4Z$.

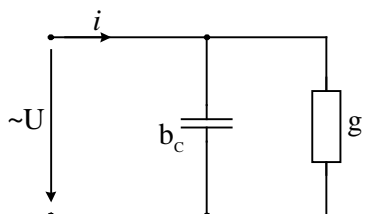
Выбрать правильный ответ:

1. $P=100$ Вт
2. $P=500$ Вт
3. $P=125$ Вт
4. $P=250$ Вт
5. $P=432$ Вт.



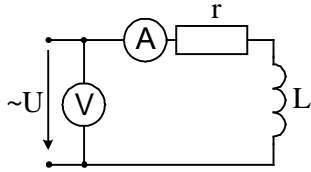
20. Определить $U(t)$, если:

$r=32$ Ом, $L=0.024$ Гн,
 $i(t)=4\sin(1000t-120)$.

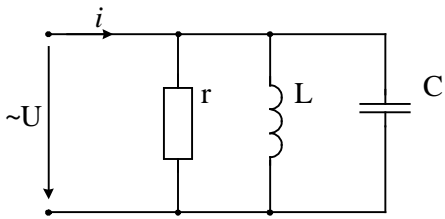


21. Определить U , если:

$b_c=0.1$ Ом⁻¹, $I=1.41$ А, $g=0.1$ Ом⁻¹.

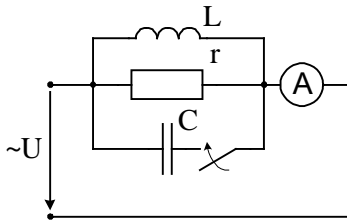


22. Определить x_L и коэффициент мощности схемы, если:
 $U=200$ В, $I=4$ А, $r=40$ Ом.



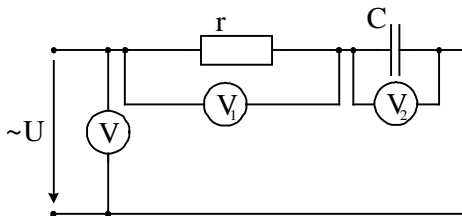
23. Определить мгновенное значение тока i : если $U=120 \sin \omega t$, $r=4$ Ом, $X_L=X_C=6$ Ом. Указать правильный ответ

1. $i=30 \sin(\omega t-90)$
2. $i=10 \sin \omega t$
3. $i=14.1 \sin \omega t$
4. $i=30 \sin \omega t$
5. $i=30 \sin(\omega t+90)$.

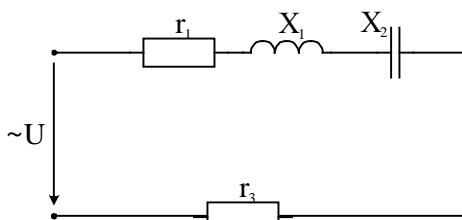


24. Как изменится показание амперметра после замыкания рубильника? Если:
 $u(t)=U_m \sin \omega t$, $r=|x_L|=|x_C|$.
 Указать правильный ответ:

1. Не изменится
2. Увеличится в 2 раза
3. Уменьшится в 2 раза.

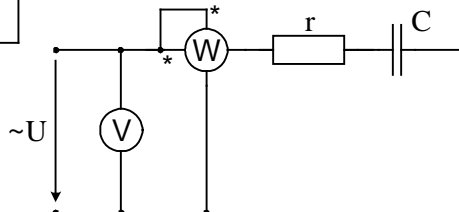


25. Определить U_V , если:
 $U_{V1}=300$ В, $U_{V2}=400$ В.

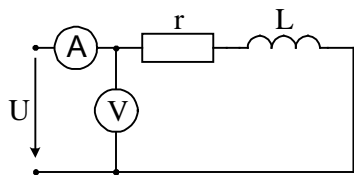


показания приборов,
 $U=282 \sin \omega t$, $x_C=10$

26. Определить $P, Q, S, \cos \phi$, если:
 $U=141 \sin \omega t$, $x_1=40$ Ом, $r_1=5$ Ом, $x_2=20$ Ом, $r_3=15$ Ом.

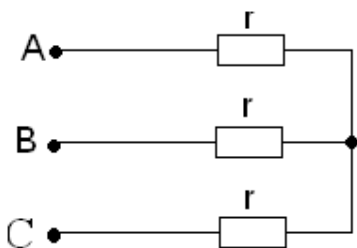


27. Определить если:
 Ом, $r=10$ Ом.

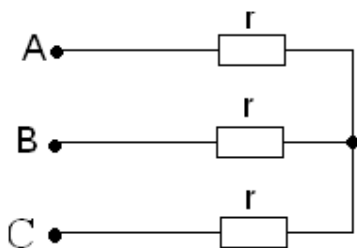


28. Определить показания приборов, если $U=141\sin(\omega t+30)$, $x_L=5$ Ом, $r=5$ Ом.

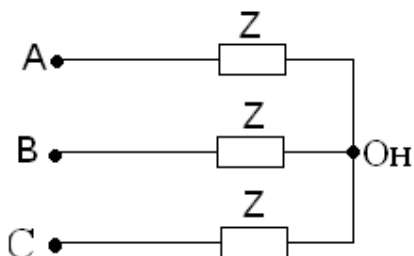
2. Трехфазные цепи.



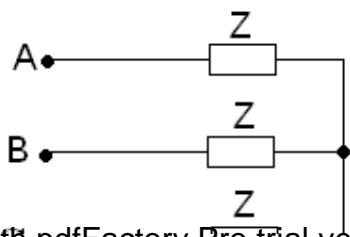
1. Определить токи при обрыве линии А, если: $U_{\text{лин}}=380$ В, $r=220$ Ом.



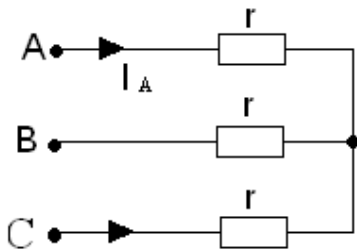
2. Определить токи при к. з. ф. А, если: $U_{\text{лин}}=380$ В, $r=180$ Ом.



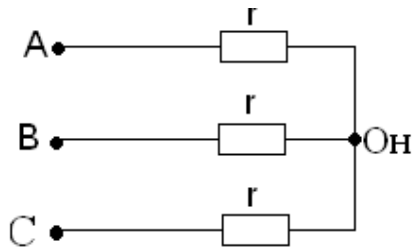
3. Определить I_B при к. з. ф. А, если: $U_{\text{лин}}=380$ В, $Z=190+j190$ (Ом).



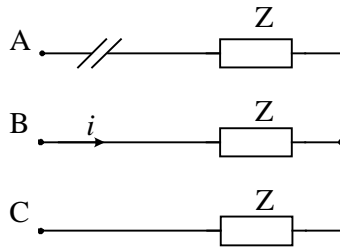
4. Определить P, Q, S , если: $U_{\text{лин}}=220$ В, $Z=127+j127$ (Ом).



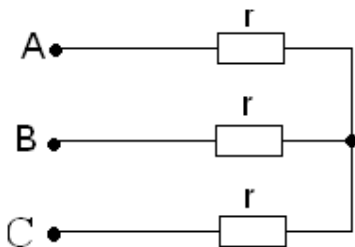
5. Определить I_C при к. з. ф. А, если:
 $U_{\text{лин}}=380\text{В}$, $r=110\text{ Ом}$.



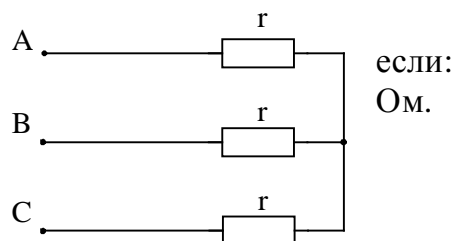
6. Определить токи при обрыве линии А, если:
 $U_{\text{лин}}=380\text{ В}$, $r=220\text{ Ом}$.



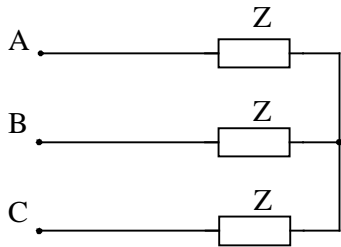
7. Определить I_B при обрыве линии А, если:
 $U_{\text{лин}}=220\text{ В}$, $Z=100\text{ Ом}$.



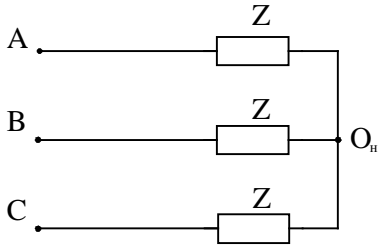
9. Определить токи,
 $U_{\text{лин}}=380\text{ В}$, $r=110$



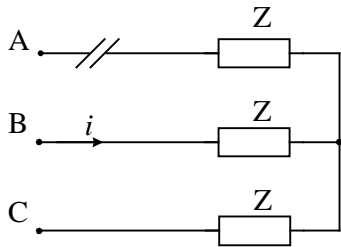
если:
 Ом.



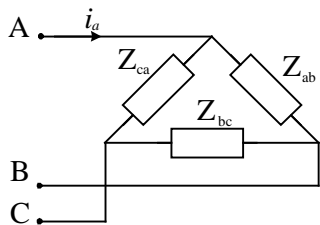
10. Определить P, Q, S , если:
 $U_{\text{лин}}=220 \text{ В}, Z=127+j127 \text{ (Ом)}$.



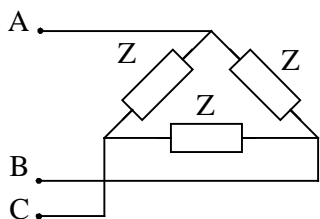
11. Определить I_B при к. з. ф. А, если:
 $U_{\text{лин}}=380 \text{ В}, Z=190+j190 \text{ (Ом)}$.



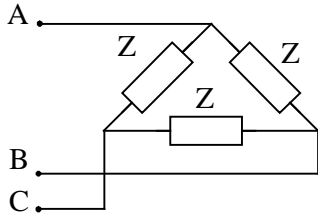
12. Определить I_B при обрыве линии А, если:
 $U_{\text{лин}}=220 \text{ В}, Z=100 \text{ Ом}$.



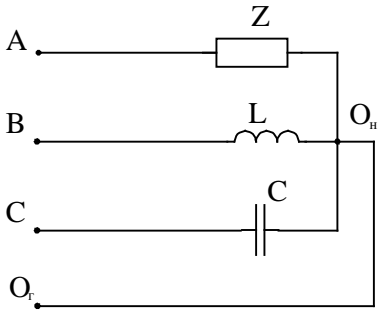
13. Определить I_A при обрыве линии В, если:
 $U_{\text{лин}}=220 \text{ В}, Z_{ab}=Z_{bc}=Z_{ca}=110e^{j45} \text{ Ом}$.



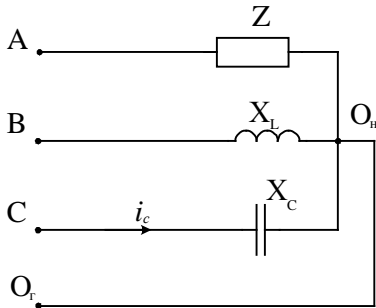
14. Определить I_A , если:
 $U_{\text{лин}}=380 \text{ В}, Z=j190 \text{ Ом}$.



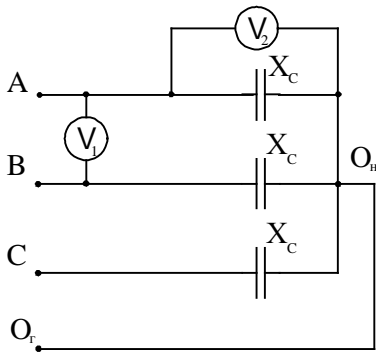
15. Определить I_{AB} , если:
 $U_{\text{лин}}=380 \text{ В}$, $Z=j190 \text{ Ом}$,



16. Определить I_C при обрыве линии А, если:
 $U_{\text{лин}}=380 \text{ В}$, $r=|x_L|=|x_C|=110 \text{ Ом}$.

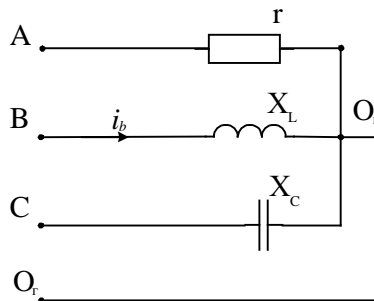


17. Определить I_C , если:
 $U_{\text{лин}}=380 \text{ В}$, $r=|x_L|=|x_C|=110 \text{ Ом}$.

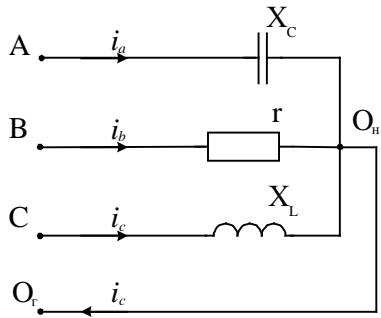


18. Определить показания вольтметров, если:
 $U_{AB}=380\sqrt{2} \sin\omega t, \text{ В}$

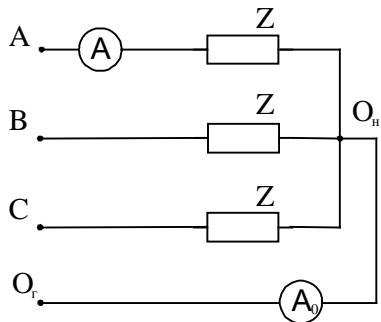
19.
 $U_{\text{лин}}=380 \text{ В}$, $r=|x_L|=55$



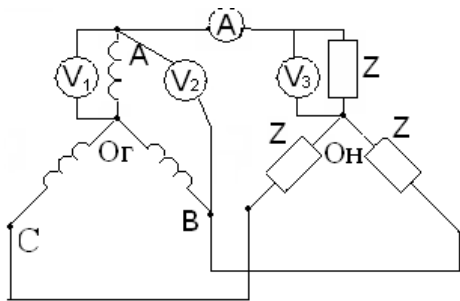
Определить I_B, I_A , если:
 Ом , $x_C=220 \text{ Ом}$.



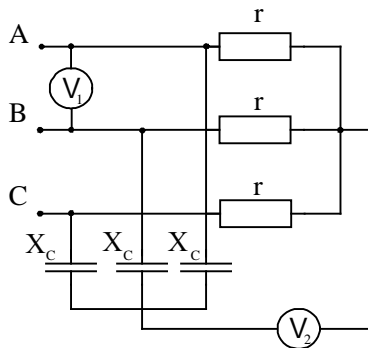
20. Определить ток в нулевом проводе I_0 , если:
 $I_A = I_B = I_C = 2\text{A}$.



21. Определить I_{A0} , I_A , если:
 $U_{\text{лин}} = 380\text{ В}$, $Z = 100\text{ Ом}$.



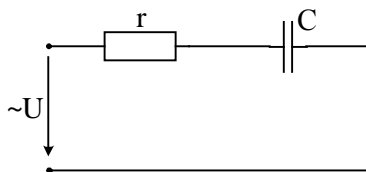
22. Определить показания приборов, если
 $U_{\text{лин}} = 380\text{ В}$, $Z = -j110\text{ Ом}$.



24. Определить показания приборов, если:
 $U_{\text{лин}} = 380\sqrt{2}\sin\omega t$.

Раздел: Электрические цепи несинусоидального тока.

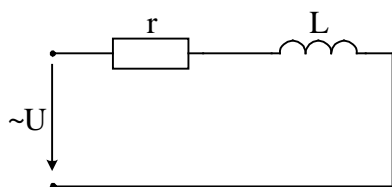
Задача 1.



Дано: $U = 100 + 100 \sin \omega t + 50 \sin (3\omega t + 68)$,
 $r = 2 \text{ Ом}$, $c = 10,5 \text{ мкФ}$, $f = 50 \text{ Гц}$.

Определить: мгновенное значение тока в цепи и его действующее значение.

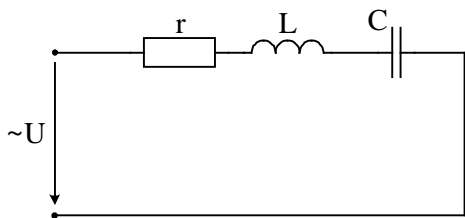
Задача 2.



Дано: $i = 10 + 5 \sin 1000t + 2 \sin 2000t$,
 $r = 5 \text{ Ом}$, $L = 3 \text{ мГн}$.

Определить: мгновенное значение напряжения U .

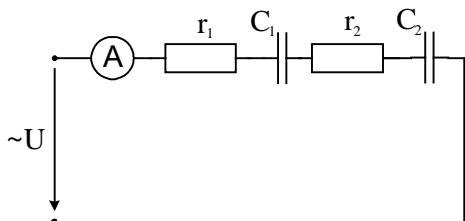
Задача 3.



Дано: $U = 180 \sin \omega t + 120 \sin 3\omega t$,
 $r = 3 \text{ Ом}$, $L = 95,5 \text{ мГн}$, $c = 11,8 \text{ мкФ}$,
 $f = 50 \text{ Гц}$.

Определить: мгновенное значение тока.

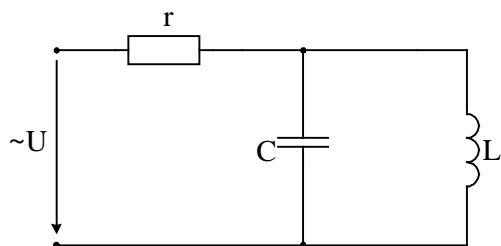
Задача 4.



Дано: $U = 300 \sin \omega t + 102 \sin (3 \omega t - 78,5^\circ)$,
 $r_1 = 8 \text{ Ом}$, $c_1 = 6 \text{ мкФ}$, $r_2 = 12 \text{ Ом}$,
 $c_2 = 4,6 \text{ мкФ}$, $f = 50 \text{ Гц}$.

Определить: показания амперметра.

Задача 5.

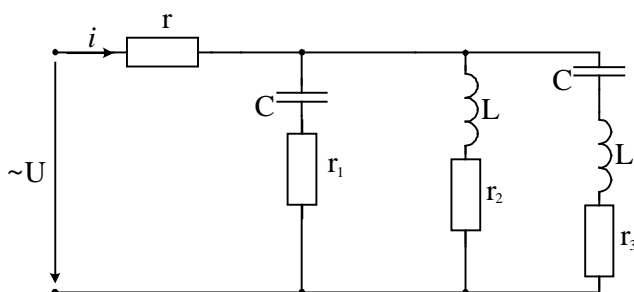


Дано: $U = 200 + 100 \sin 3 \omega t$,
 $r = 50 \text{ Ом}$, $X_L = \omega L = 5 \text{ Ом}$,

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = 45 \text{ Ом}.$$

Определить: действующее значение тока в неразветвленной части цепи.

Задача 6.



Дано: $U = 120 + 282 \sin \omega t$,
 при угловой частоте ω $X_C = X_L = 30 \text{ Ом}$,
 $r_1 = r_2 = 40 \text{ Ом}$, $r_3 = 100 \text{ Ом}$.

Определить: мгновенное значение тока i .

Задача 7.

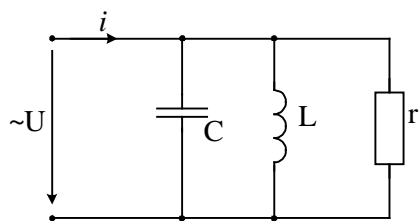
Дано: напряжение и ток в цепи изменяются по законам:

$$U = 80\sqrt{2} \sin(\omega t + 15^\circ) + 60\sqrt{2} \sin(3\omega t - 20^\circ),$$

$$i = 40\sqrt{2} \sin(\omega t + 75^\circ) + 30\sqrt{2} \sin(3\omega t + 40^\circ).$$

Определить: активную мощность цепи P .

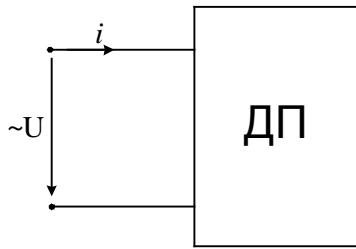
Задача 8.



Дано: $U = 100 + 50\sin(\omega t + 50^\circ) + 25\sin 3 \omega t$,
 $r = 20 \text{ Ом}$, $C = 100 \text{ мкФ}$, $L = 10 \text{ мГн}$,
 $\omega = 1000 \text{ 1/с}$, на 1^{ой} гармонике в цепи возникает резонанс токов.

Определить: мгновенное значение тока i .

Задача 9.



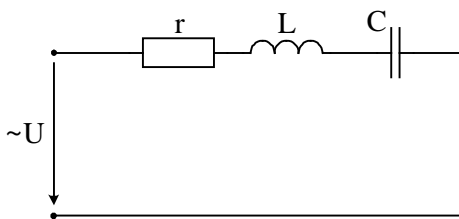
Дано: для двухполюсника

$$U = 1 + 0,83\sin(\omega_1 t + 60^\circ),$$

$$i = 0,1 + 1,3\sin(\omega_1 t + 0,4\sin 2\omega_1 t).$$

Определить: активную и полную мощность цепи.

Задача 10.



Дано: $U = 400 + 282\sin \omega t,$

$X_L = X_C = 60$ Ом при угловой частоте $\omega,$

$r = 40$ Ом.

Определить: действующее значение тока и напряжение на отдельных участках цепи.

3. ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

По дисциплине: «Электротехника и электроника»

(1 часть)

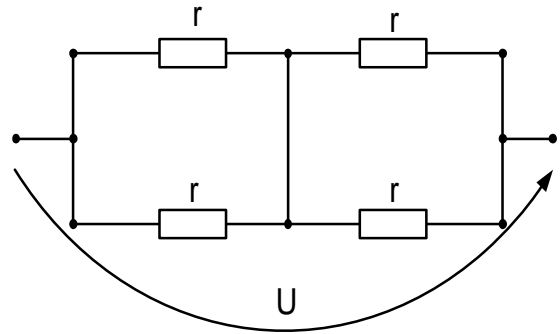
по трем разделам:

1. Электрические цепи постоянного тока (8 вариантов)
2. Электрические цепи переменного однофазного и трехфазного токов (10 вариантов)

Вариант №1

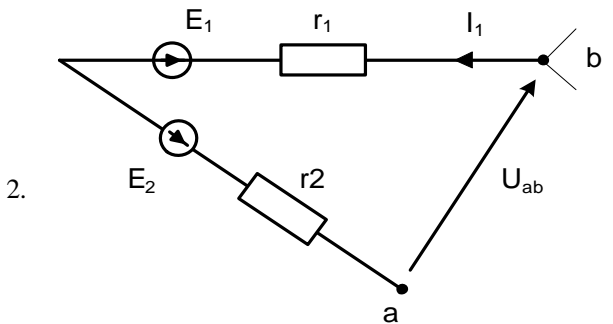
1. Определить эквивалентное сопротивление цепи $r_{\text{ЭКВ}}$.

- Варианты ответов: 1. $r_{\text{ЭКВ}}=r$ 2. $r_{\text{ЭКВ}}=4r$
 3. $r_{\text{ЭКВ}}=r/2$ 4. $r_{\text{ЭКВ}}=r/4$ 5. $r_{\text{ЭКВ}}=2$



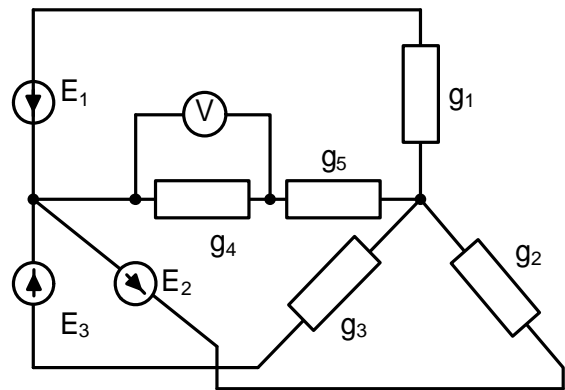
2. Определить напряжение U_{ab} . $I_1=3$ A, $E_1=70$ В, $E_2=20$ В, $r=8$ Ом.

- Варианты ответов: 1. $U_{ab}=46$ В
 $U_{ab}=-46$ В 3. $U_{ab}=-74$ В 4. $U_{ab}=74$ В
 5. $U_{ab}=-66$ В



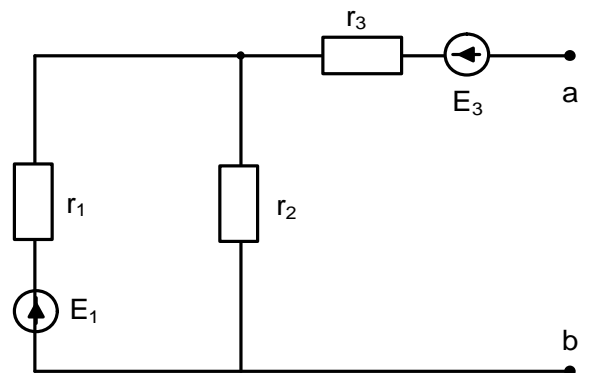
3. Определить показания вольтметра U_v . $E_1=E_2=50$ В, $E_3=100$ В, $g_1=g_2=g_3=g_4=g_5=0.2$ Ом

- Варианты ответов: 1. $U_v=0$ В
 2. $U_v=100$ В 3. $U_v=50$ В 4. $U_v=75$ В
 5. $U_v=175$ В



4. Определить ЭДС и сопротивление эквивалентного генератора относительно зажимов ab. $E_1=54$ В, $E_3=12$ В, $r_1=9$ Ом, $r_2=18$ Ом, $r_3=5$ Ом.

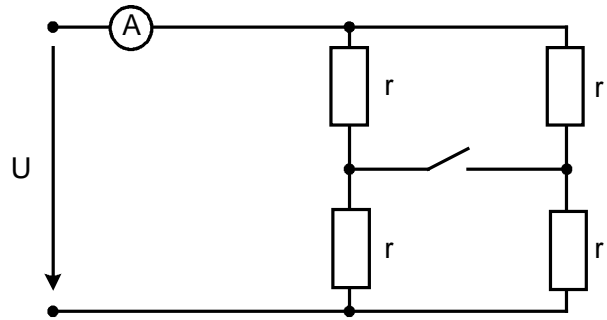
- Варианты ответов: 1. $E_{\text{ЭГ}}=42$ В, $r_{\text{ЭГ}}=6$ Ом
 2. $E_{\text{ЭГ}}=66$ В, $r_{\text{ЭГ}}=32$ Ом.
 3. $E_{\text{ЭГ}}=0$, $r_{\text{ЭГ}}=0$.
 4. $E_{\text{ЭГ}}=24$ В, $r_{\text{ЭГ}}=11$ Ом.
 5. $E_{\text{ЭГ}}=36$ В, $r_{\text{ЭГ}}=22$ Ом.



Вариант №2

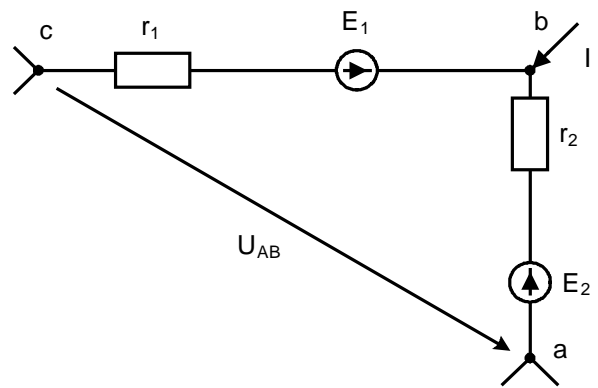
1 . Как изменится показания амперметра после замыкания рубильника?

- Варианты ответов: 1 . Возрастет в два раза
 2. Уменьшится в два раза
 3. Возрастет в четыре раза
 4. Уменьшится в четыре раза
 5. Не изменится



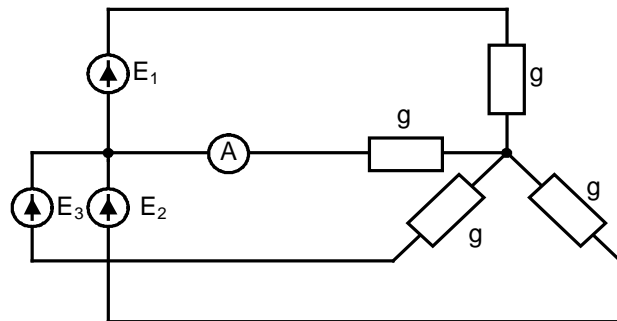
2 . Определить токи I_1 и I_2 протекающие через r_1 и r_2 . $I=8$ А, $r_1=3$ Ом, $U_{CA}=70$ В.

- Варианты ответов: 1. $I_1=17.5$ А, $I_2=9.5$ А
 2. $I_1=10$ А, $I_2=2$ А 3. $I_1=9.5$ А, $I_2=1.5$ А 4.
 $I_1=0$ А, $I_2=8$ А 5. $I_1=2$ А, $I_2=8$ А



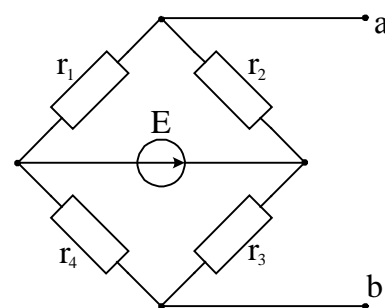
3. Определить показания амперметра в общем виде . $2E_1=2E_3=E_2$

- Варианты ответов: . $I_A=2E_1g$
 2. $I_A=E_2g$ 3. $I_A=0$ 4. $I_A=3E_3g/4$
 5. $I_A=E_1g/4$



4 . Определить ЭДС и сопротивление эквивалентного генератора относительно зажимов а и b . $r_1=4$ Ом, $r_2=16$ Ом , $r_3=7$ Ом , $r_4=18$ Ом , $r_5=11.1$ Ом

- Варианты ответов: 1. $E_{ЭГ}=0$, $r_{ЭГ}=0$
 2. $E_{ЭГ}=50$ В , $r_{ЭГ}=11$ Ом 3. $E_{ЭГ}=57$ В, $r_{ЭГ}=25$ Ом



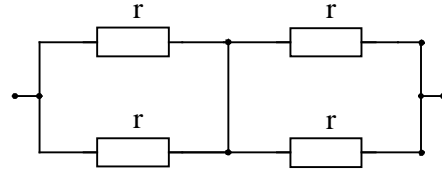
Вариант №3

1. Определить эквивалентное сопротивление цепи

$r_{\text{ЭКВ}}$.

Варианты ответов: 1. $r_{\text{ЭКВ}}=r$ 2. $r_{\text{ЭКВ}}=5r$

3. $r_{\text{ЭКВ}}=4/5r$ 4. $r_{\text{ЭКВ}}=1/5r$ 5. $r_{\text{ЭКВ}}=2r$



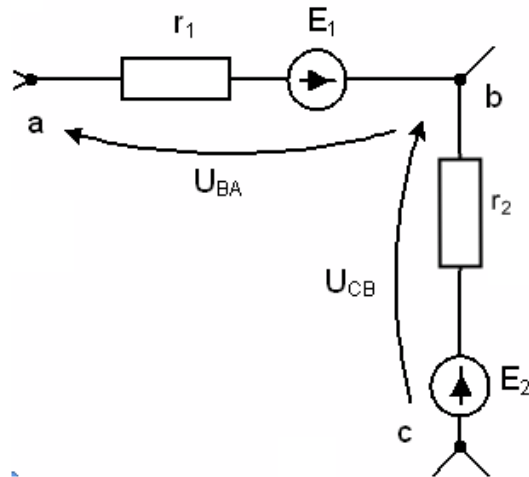
2. Определить показания амперметра I_A .

$E_1=100$ В, $E_2=70$ В, $r_1=7$ Ом, $r_2=8$ Ом,
 $U_{BA}=107$ В, $U_{CB}=60$ В.

Варианты ответов: 1. $I_A=2.25$ А

2. $I_A=13.3$ А 3. $I_A=0.25$ А 4. $I_A=28.4$ А

5. $I_A=30.9$ А



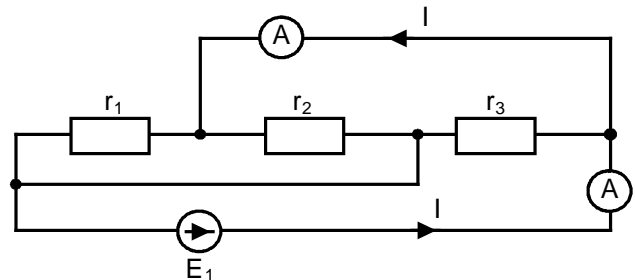
3. Определить показания амперметров

I и I_0 . $E_1=100$ В, $r_1=50$ Ом, $r_2=100$ Ом,
 $r_3=25$ Ом.

Варианты ответов: 1. $I=5$ А, $I_0=1$ А

2. $I=1$ А, $I_0=3$ А 3. $I=3$ А, $I_0=1$ А

4. $I=7$ А, $I_0=3$ А 5. $I=6$ А, $I_0=2$ А



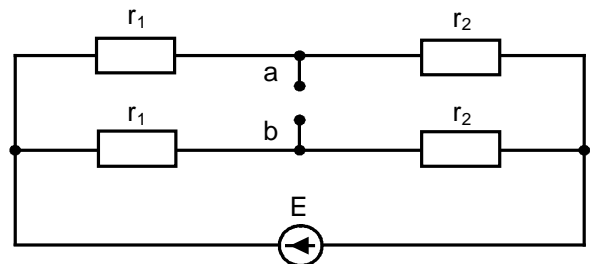
4. Определить ЭДС и сопротивление

эквивалентного генератора относительно зажимов
а и б. $r_1=30$ Ом, $r_2=6$ Ом, $E=120$ В.

Варианты ответов: 1. $E_{\text{ЭГ}}=120$ В, $r_{\text{ЭГ}}=90$ Ом

2. $E_{\text{ЭГ}}=60$ В, $r_{\text{ЭГ}}=30$ Ом 3. $E_{\text{ЭГ}}=40$ В, $r_{\text{ЭГ}}=45$ Ом

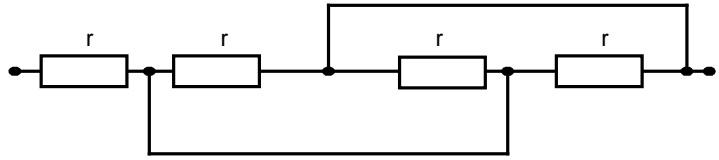
4. $E_{\text{ЭГ}}=20$ В, $r_{\text{ЭГ}}=60$ Ом 5. $E_{\text{ЭГ}}=0$, $r_{\text{ЭГ}}=40$ Ом



Вариант №4

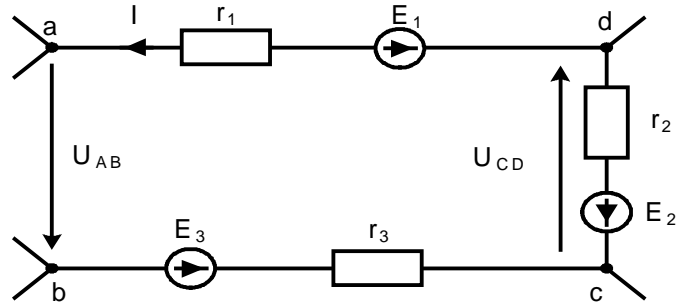
1. Определить эквивалентное сопротивление $r_{ЭКВ}$.

Варианты ответов : 1. $r_{ЭКВ}=4r$
 2. $r_{ЭКВ}=r/4$ 3. $r_{ЭКВ}=4/3r$ 4. $r_{ЭКВ}=r/3$
 5. $r_{ЭКВ}=r$



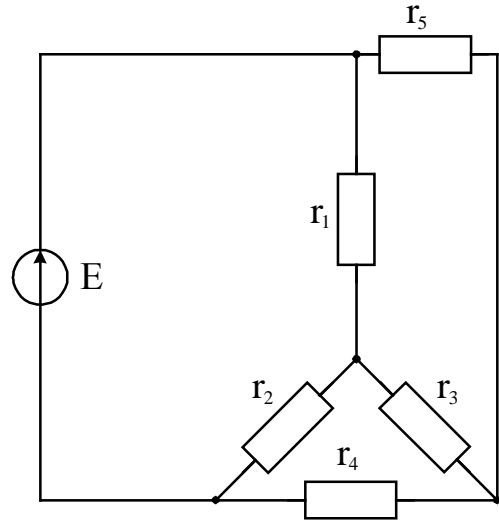
2. Определить напряжение U_{AB} .
 $E_1=30$ В, $E_2=100$ В, $I=10$ А,
 $r_1=8$ Ом, $r_2=2$ Ом, $r_3=6$ Ом,
 $U_{CD}=108$ В.

Варианты ответов : 1. $U_{AB}=-52$ В
 2. $U_{AB}=52$ В 3. $U_{AB}=-108$ В
 4. $U_{AB}=44$ В 5. $U_{AB}=172$ В



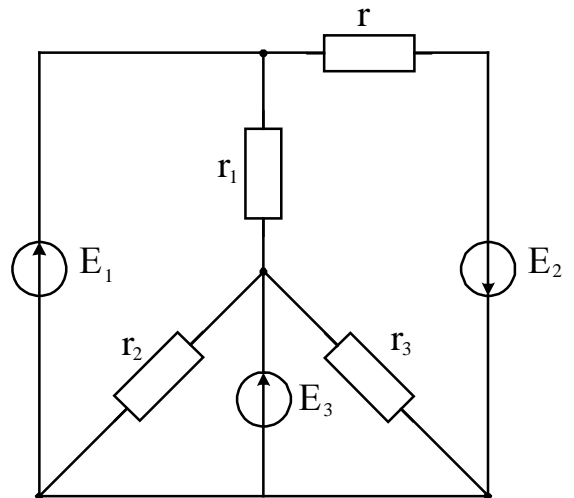
3. Определить ток I. $r_1=r_2=r_3=1$ Ом,
 $r_4=r_5=3$ Ом, $E=60$ В.

Варианты ответов: 1. $I=30$ А 2. $I=60$ А
 3. $I=40$ А 4. $I=15$ А 5. $I=45$ А



4. Определить ток I методом эквивалентного генератора. $E_1=120$ В, $E_2=50$ В, $E_3=60$ В,
 $r=r_1=r_2=r_3=100$ Ом,

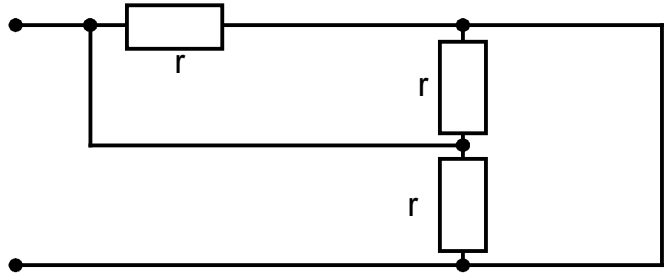
Варианты ответов: 1. $I=1$ А 2. $I=1.8$ А
 3. $I=0.6$ А 4. $I=6$ А 5. $I=2$ А



Вариант №5

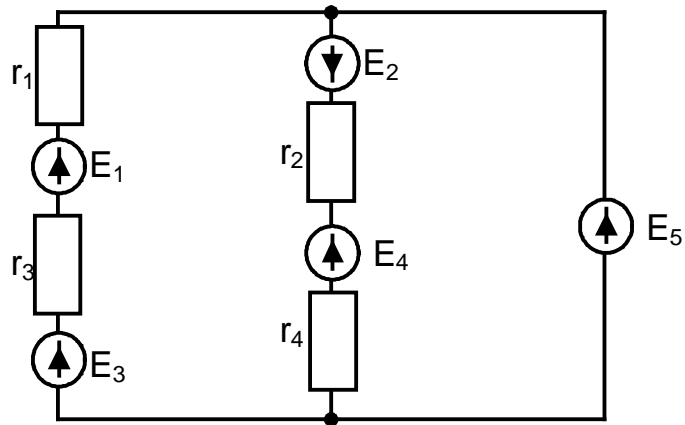
1. Определить эквивалентное сопротивление цепи $r_{ЭКВ}$.

Варианты ответов: 1. $r_{ЭКВ}=3r$
2. $r_{ЭКВ}=1/3r$ 3. $r_{ЭКВ}=2/3r$ 4. $r_{ЭКВ}=0$
5. $r_{ЭКВ}=r$.



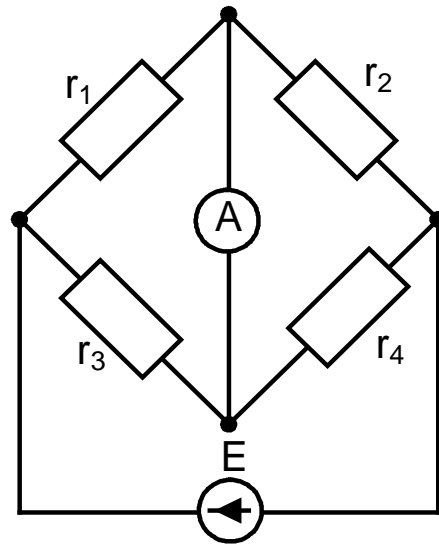
2. Определить напряжение U_{AB} . $r_1=r_3=10 \text{ Ом}$, $r_2=r_4=5 \text{ Ом}$, $E_1=E_4=60 \text{ В}$, $E_2=30 \text{ В}$, $E_5=20 \text{ В}$, $E_3=10 \text{ В}$.

Варианты ответов: 1. $U_{AB}=-90 \text{ В}$ 2. $U_{AB}=-80 \text{ В}$ 3. $U_{AB}=100 \text{ В}$ 4. $U_{AB}=-20 \text{ В}$ 5. $U_{AB}=30 \text{ В}$



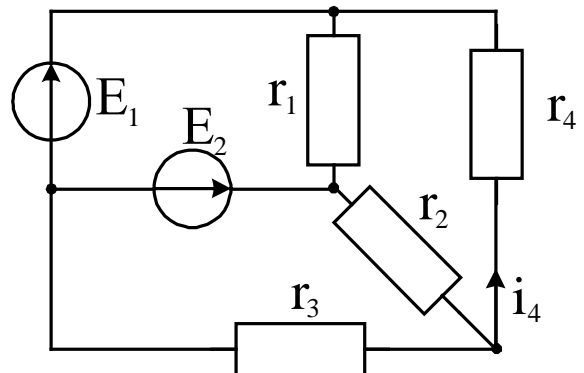
3. Определить показания амперметра I_A . $r_1=r_2=10 \text{ Ом}$, $r_4=r_3=20 \text{ Ом}$, $E=100 \text{ В}$.

Варианты ответов: 1. $I_A=10 \text{ А}$ 2. $I_A=0$
3. $I_A=5 \text{ А}$ 4. $I_A=20 \text{ А}$ 5. $I_A=15 \text{ А}$



4. Определить ток методом эквивалентного генератора I_4 . $r_1=r_4=10 \text{ Ом}$, $r_2=r_3=20 \text{ Ом}$, $E_1=20 \text{ В}$, $E_2=40 \text{ В}$.

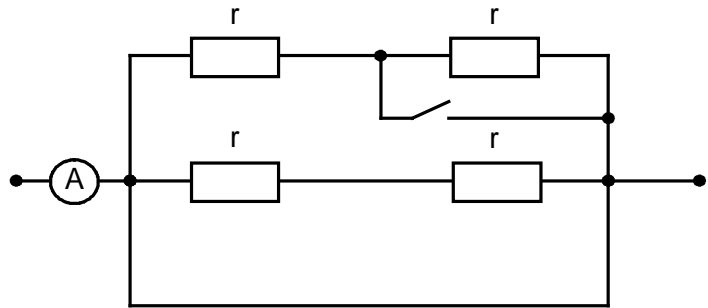
Варианты ответов: 1. $I_4=1 \text{ А}$
2. $I_4=4 \text{ А}$ 3. $I_4=2 \text{ А}$ 4. $I_4=0 \text{ А}$ 5. $I_4=3 \text{ А}$



Вариант №6

1. Что покажет амперметр после замыкания рубильника? До замыкания рубильника амперметр показывал 9 А.

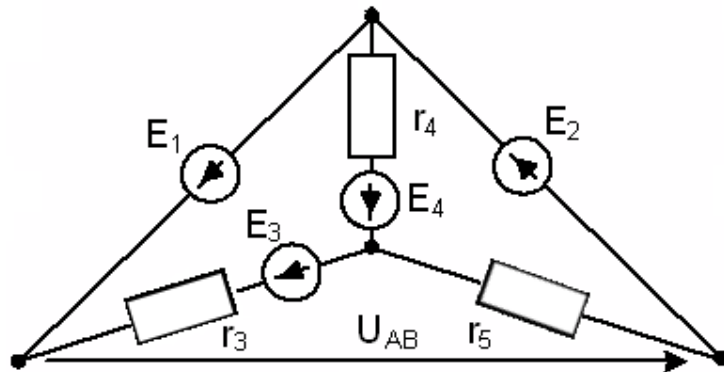
Варианты ответов: 1. 27 А
2. 18 А 3. 13.5 А 4. 6 А 5. 3 А



2. Определить напряжение U_{AB} . $r_3=r_4=r_5=10 \text{ Ом}$, $E_1=E_2=E_3=100 \text{ В}$.

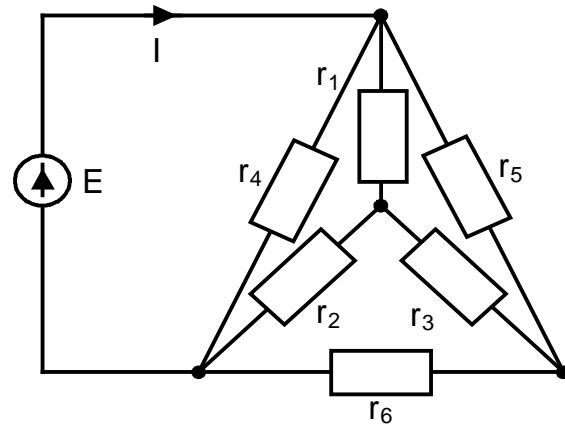
Варианты ответов:

1. $U_{AB}=100 \text{ В}$
2. $U_{AB}=-100 \text{ В}$
3. $U_{AB}=-150 \text{ В}$
4. $U_{AB}=150 \text{ В}$
5. $U_{AB}=0 \text{ В}$



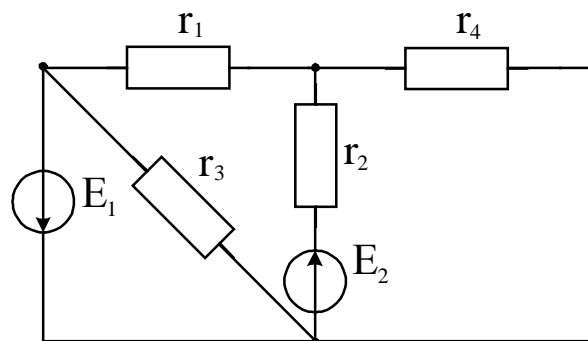
3. Определить E . $r_3=r_2=r_1=2 \text{ Ом}$, $I=30 \text{ А}$, $r_6=r_4=r_5=6 \text{ Ом}$.

Варианты ответов: 1. $E=45 \text{ В}$ 2. $E=80 \text{ В}$
3. $E=120 \text{ В}$ 4. $E=40 \text{ В}$ 5. $E=60 \text{ В}$



4. Определить ток I_4 методом эквивалентного генератора. $r_4=5 \text{ Ом}$, $r_1=r_2=r_3=10 \text{ Ом}$, $E_2=100 \text{ В}$.

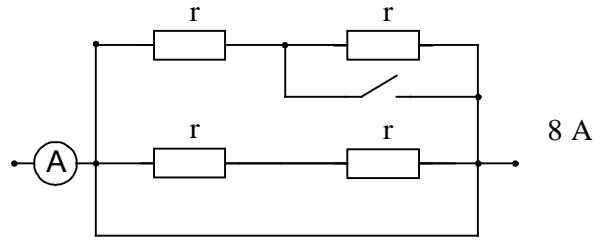
Варианты ответов: 1. $I_4=6 \text{ А}$ 2. $I_4=2 \text{ А}$
3. $I_4=7 \text{ А}$ 4. $I_4=17 \text{ А}$ 5. $I_4=3 \text{ А}$



Вариант №7

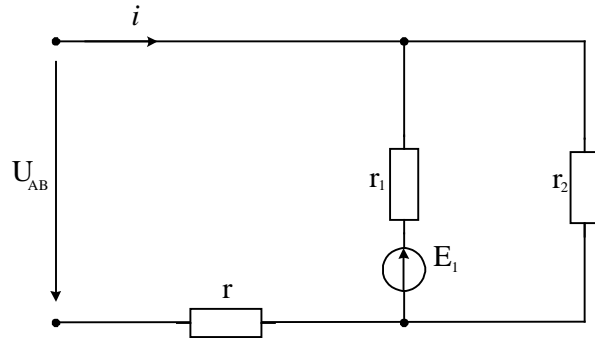
1. Что покажет амперметр после замыкания рубильника? До замыкания рубильника амперметр показывал 2 А.

Варианты ответов: 1. 4 А 2. 3 А 3. 2 А 4. 5. 1/3 А



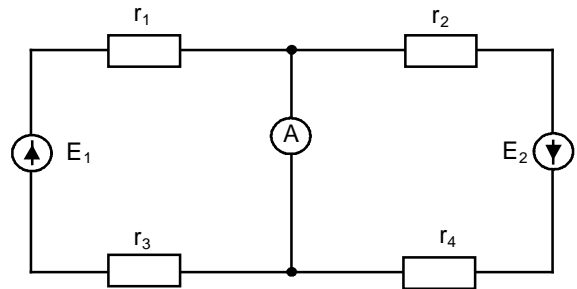
2. Определить напряжение U_{AB} .
 $r_1=r_2=6$ Ом, $r=7$ Ом, $E_1=90$ В, $I=5$ А.

Варианты ответов: 1. $U_{AB}=25$ В
 2. $U_{AB}=65$ В 3. $U_{AB}=95$ В
 4. $U_{AB}=5$ В 5. $U_{AB}=140$ В



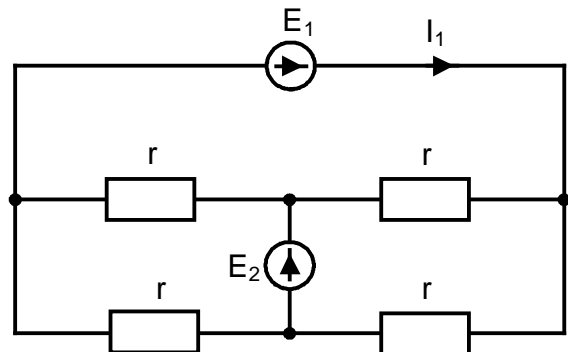
3. Определить показания амперметра I_A .
 $r_1=6$ Ом, $r_2=8$ Ом, $r_3=4$ Ом, $r_4=12$ Ом,
 $E_1=20$ В, $E_2=60$ В.

Варианты ответов: 1. $I_A=2$ А 2. $I_A=3$ А
 3. $I_A=0$ А 4. $I_A=1$ А 5. $I_A=4$ А



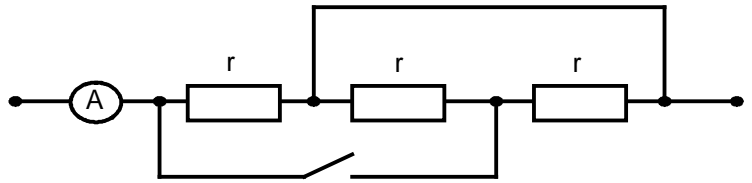
4. Определить ток I_1 методом эквивалентного генератора. $r=20$ Ом,
 $E_1=200$ В, $E_2=100$ В.

Варианты ответов: 1. $I_1=5$ А 2. $I_A=0$ А
 3. $I_A=20$ А 4. $I_A=15$ А 5. $I_A=10$ А



Вариант №8

1. Что покажет амперметр после замыкания рубильника? До замыкания рубильника амперметр показывал 2 А.

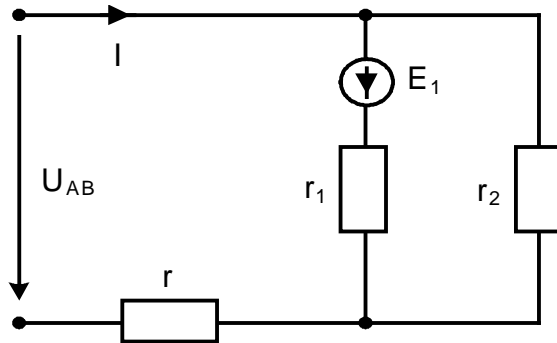


Варианты ответов: 1. 0 А 2. 2 А
3. 18 А 4. 8 А 5. 1/3 А

2. Определить напряжение U_{AB} .
 $r_1=r_2=1 \text{ Ом}$, $r=5 \text{ Ом}$, $E_1=100 \text{ В}$, $I=5 \text{ А}$.

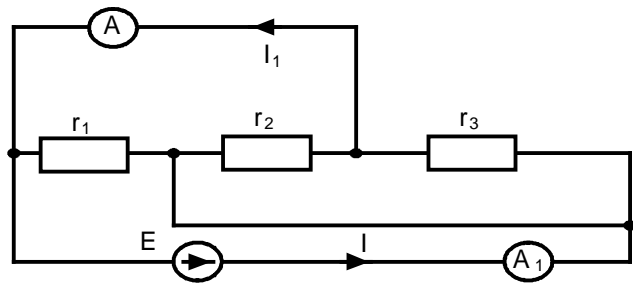
Варианты ответов:

1. $U_{AB}=0$ 2. $U_{AB}=25 \text{ В}$ 3. $U_{AB}=-50 \text{ В}$
4. $U_{AB}=0$ 5. $U_{AB}=75 \text{ В}$



3. Определить показания амперметров I и I_1 . $E=100 \text{ В}$, $r_1=25 \text{ Ом}$, $r_2=100 \text{ Ом}$, $r_3=50 \text{ Ом}$.

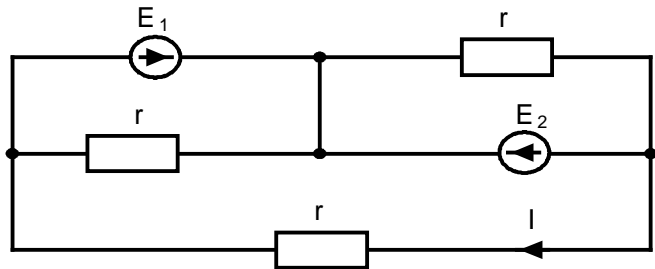
Варианты ответов: 1. $I=4 \text{ А}$, $I_1=1.3 \text{ А}$
2. $I=10 \text{ А}$, $I_1=7 \text{ А}$ 3. $I=5 \text{ А}$, $I_1=2 \text{ А}$
4. $I=7 \text{ А}$, $I_1=3 \text{ А}$ 5. $I=4 \text{ А}$, $I_1=1 \text{ А}$.



4. Определить ток I методом наложения. $r=30 \text{ Ом}$, $E_1=30 \text{ В}$, $E_2=15 \text{ В}$.

Варианты ответов:

1. $I=-0.5 \text{ А}$ 2. $I=1.5 \text{ А}$ 3. $I=0.5 \text{ А}$
4. $I=1 \text{ А}$ 5. $I=3 \text{ А}$.

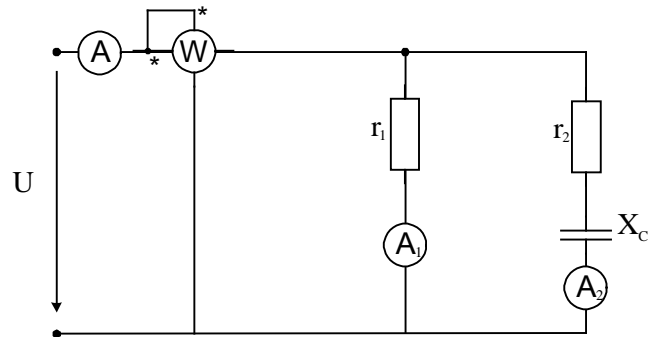


Вариант №1

1 . Построить кривые изменения тока и напряжения во времени: $U=282\sin(314t+180^\circ)$ В;
 $i=2,82(314t+35^\circ)$ А. Определить сдвиг фаз между током и напряжением.

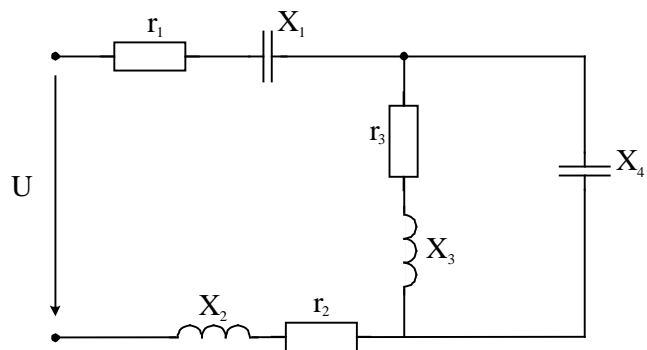
2 . Дано: $U=100$ В, $r_1=10$ Ом,
 $r_2=12$ Ом, $X_C=5$ Ом

Определить: Показания приборов.



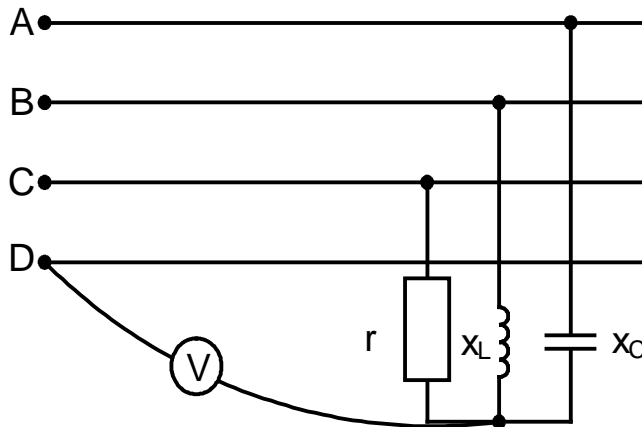
3 . Дано: $r_1=5$ Ом, $X_1=5$ Ом,
 $r_3=10$ Ом, $X_3=10$ Ом, $X_4=40$ Ом,
 $r_2=|X_2|=20$ Ом.

Определить: Полное комплексное сопротивление цепи.



4 . Дано : $U_{л}=220$ В ,
 $r=|X_L|=|X_C|=127$ Ом .

Определить: Показания
 вольтметра

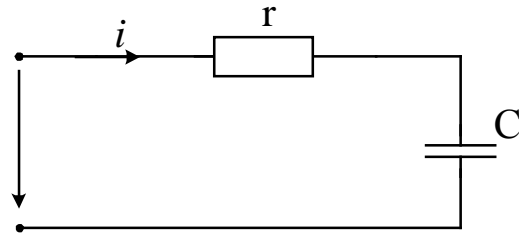


Вариант №2

1. Дано: $U=141\sin 2000\omega t$, $r=1000$ Ом ,
 $c=0.5$ мкФ.

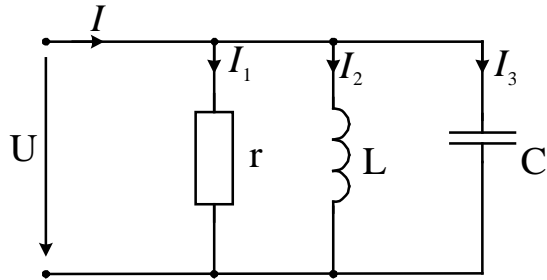
Записать : $i(t)$, $U_C(t)$, $U_i(t)$.

Определить: P , Q , S .



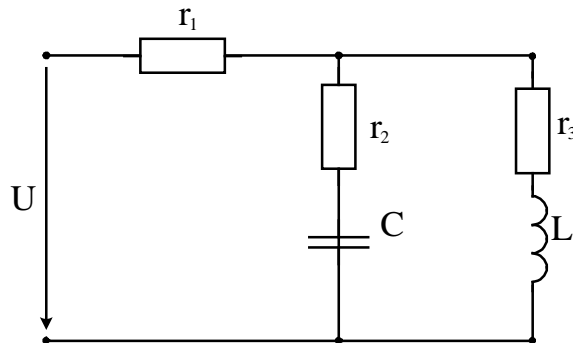
2. Дано: $I_1=5$ А, $I_2=10$ А, $I_3=15$ А.

Определить: I , $\cos\phi$.



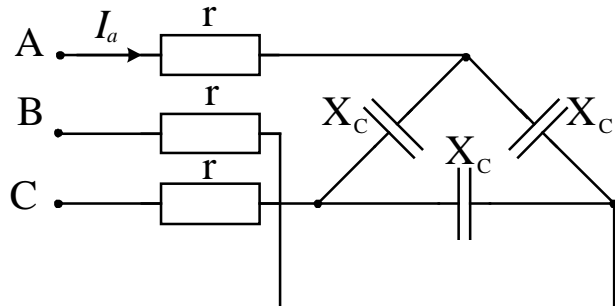
3. Дано: U , r_1 , r_2 , C , r_3 , L .

Определить: Пользуясь законами
 Кирхгофа, записать уравнения для
 определения всех токов цепи.



4 . Дано: $r=10$ Ом, $U_A=380$ В, $X_C=30$
 Ом.

Определить: I_A .

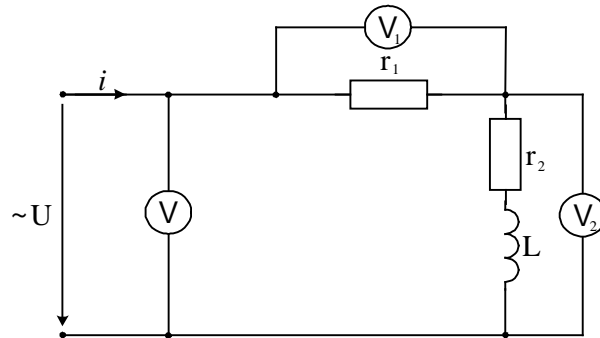


Вариант №3

1. Построить кривые изменения напряжения и тока во времени и начертить вектора, изображающие заданные синусоиды. $U=141\sin(314t+45^\circ)\text{В}$, $i=5\sin(314t-20^\circ)$.
Определить период T , частоту f .

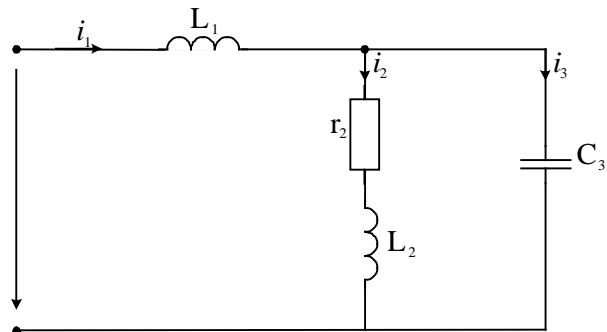
2. Дано: $r_1=20\text{ Ом}$, $U_V=120\text{ В}$,
 $U_{V1}=80\text{ В}$, $U_{V2}=60\text{ В}$.

Определить: Мощность,
расходуемую в индуктивной
катушке.



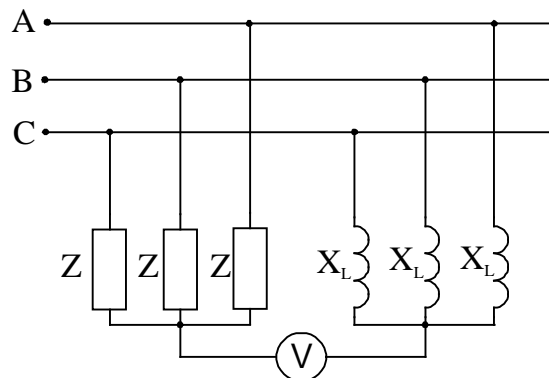
3. Дано: $i_1=12\sqrt{2}\sin\omega t\text{ А}$,
 $X_1=22.5\text{ Ом}$, $r_2=40\text{ Ом}$,
 $X_2=100\text{ Ом}$, $X_3=20\text{ Ом}$.

Определить: I_1 , I_2 , I_3 , U .



4. Дано: $U_{Л1}=380\text{ В}$, $r=110\text{ Ом}$,
 $X_L=220\text{ Ом}$.

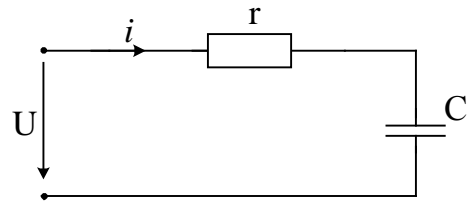
Определить: U_V .



Вариант №4

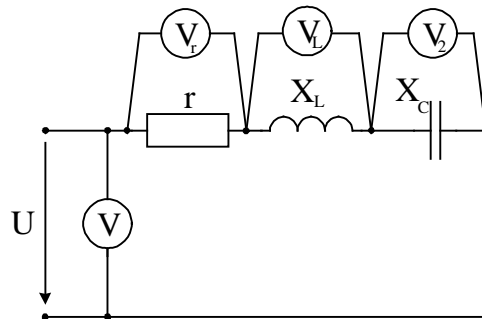
1. Дано: $r=100$ Ом, $C=2$ мкФ, $U_C=10\sin 5000t$.

Определить: Мгновенные значения приложенного напряжения.



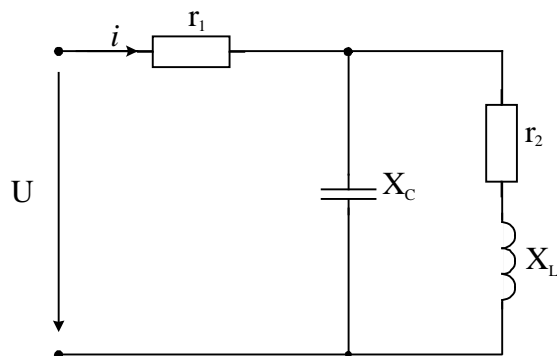
2. Дано: $U_r=100$ В, $U_L=200$ В, $U_C=300$ В.

Определить: U_V , $\cos\phi$.



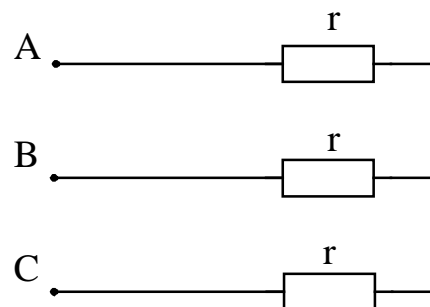
3. Дано: $U=282\sin(\omega t+45^\circ)$,
 $r_2=|X_L|=10$ Ом, $X_C=20$ Ом, $r_1=5$ Ом.

Определить: I_1 .



4. Дано: $U_{Л}=200$ В, $r=127$ Ом.

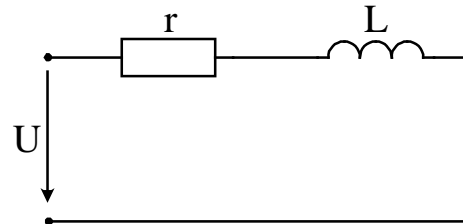
Определить: P, Q.



Вариант №5

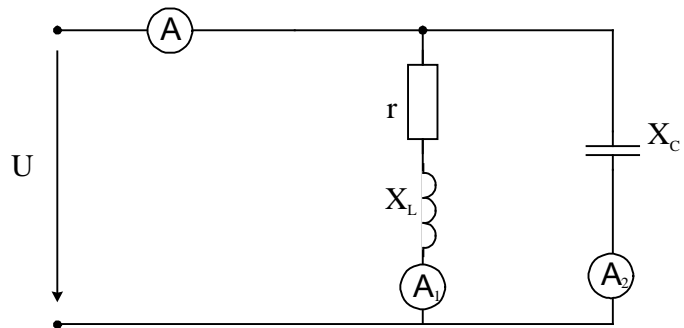
1. Дано: $i=2\sin 1000t$ А, $r=9$ Ом, $L=12$ мГн.

Определить: Мгновенное значение приложенного напряжения.



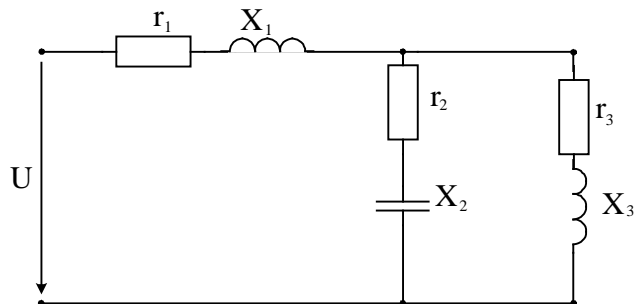
2. Дано: $U=100$ В, $r=|X_L|=20$ Ом, $X_C=50$ Ом.

Определить: Показания приборов.



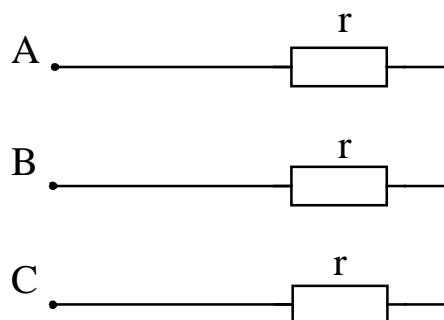
3. Дано: $U=U_m\sin\omega t$, r_1 , X_1 , r_2 , X_2 , r_3 , X_3 .

Записать уравнения по второму закону Кирхгофа для независимых контуров.



4. Дано: $U_{Л}=220$ В, $r=110$ Ом.

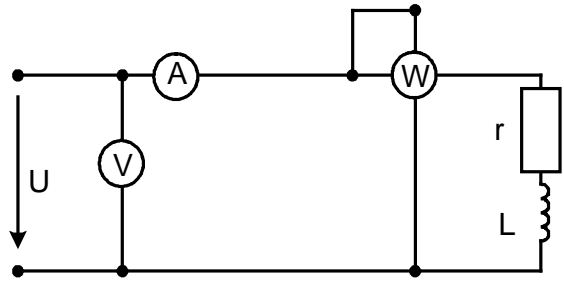
Определить: Токи при коротком замыкании фазы В.



Вариант №6

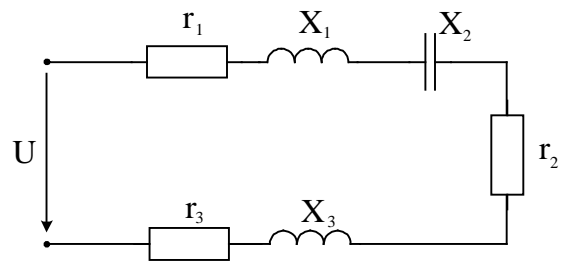
1. Дано: $I_m=6$ А, $r=5$ Ом, $L=3.5$ мГн,
 $f=50$ Гц.

Определить: Мгновенное значение
 приложенного напряжения и определить
 показания приборов.



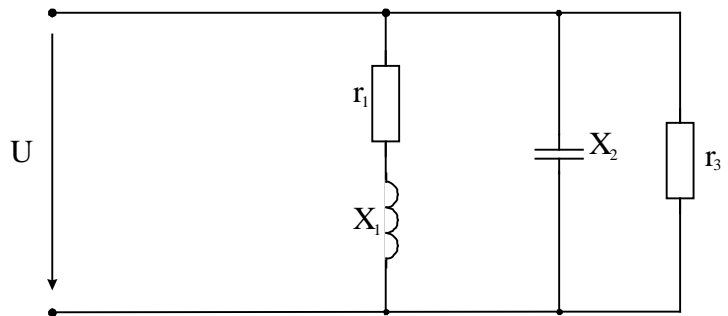
2. Дано: U , r_1 , r_2 , r_3 , X_1 , X_2 , X_3 .

Построить примерную топографическую
 диаграмму напряжений.



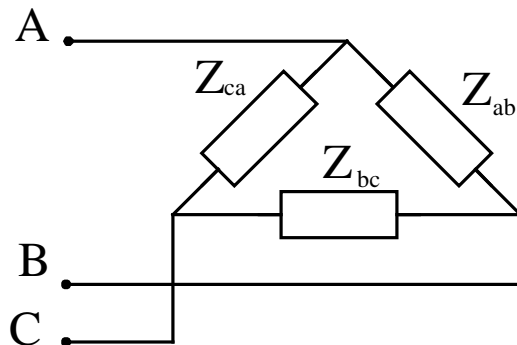
3. Дано: $U=141 \sin(\omega t+60^\circ)$ В,
 $r_1=10$ Ом, $X_1=20$ Ом,
 $X_2=40$ Ом, $r_3=50$ Ом.

Определить: S , P , Q , $\cos\phi$.



4. Дано: $U_{Л}=380$ В,
 $Z_{ab}=Z_{ba}=Z_{ca}=190$ Ом= r .

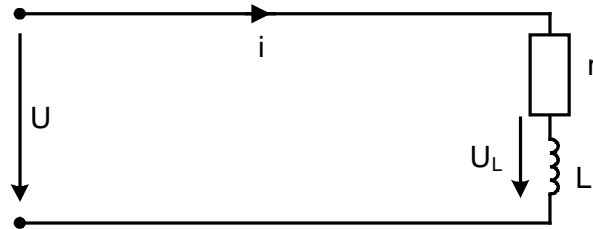
Определить: Все токи при обрыве
 линии А.



Вариант №7

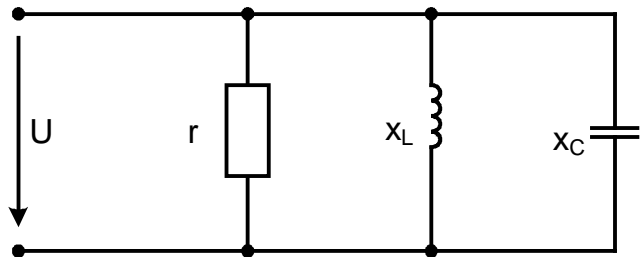
1. Дано: $U_L=240\sin(1000t+150^\circ)$,
 $r=5 \text{ Ом}$, $L=40 \text{ мГн}$.

Определить: мгновенное значение
 напряжения на входе схемы.



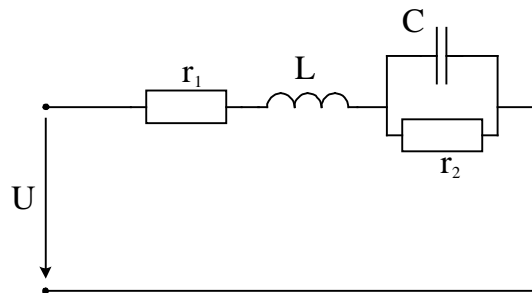
2. Дано: $U=100 \text{ В}$, $r=10 \text{ Ом}$,
 $X_L=20 \text{ Ом}$, $X_C=10 \text{ Ом}$.

Определить: все токи
 (действующие значения).



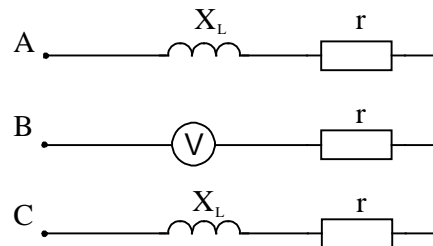
3. Дано: r_1 , L , r_2 , f .

Записать условие резонанса
 напряжений.



4. Дано: $U_L=380 \text{ В}$, $r=|X_L|=110 \text{ Ом}$.

Определить: U_V .

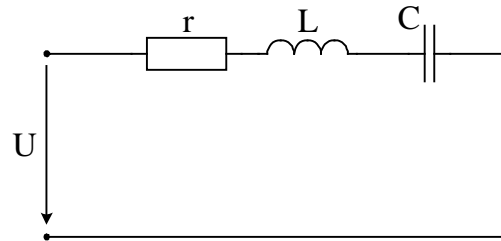


Вариант №8

1. Дано: $U_m=120$ В, $I_m=5$ А, ток отстаёт от напряжения на угол 30° . Написать выражение для мгновенного значения тока и напряжения, если начальная фаза равна 90° .

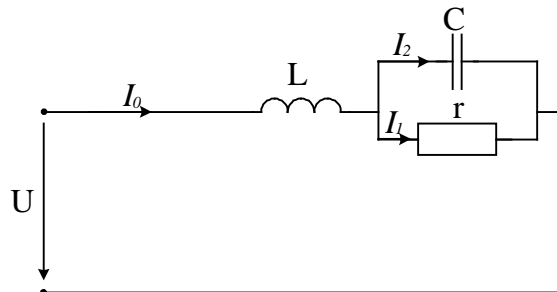
2. Дано: Цепь построена в резонансе при $f=50$ Гц, $P=1000$ Вт, $L=40$ мГн, $r=10$ Ом.

Определить: C , U .



3. Дано: $r=10$ Ом,
 $U=120\sqrt{2} \sin(\omega t + 90^\circ)$ В, $X_C=10$ Ом,
 $X_L=5$ Ом.

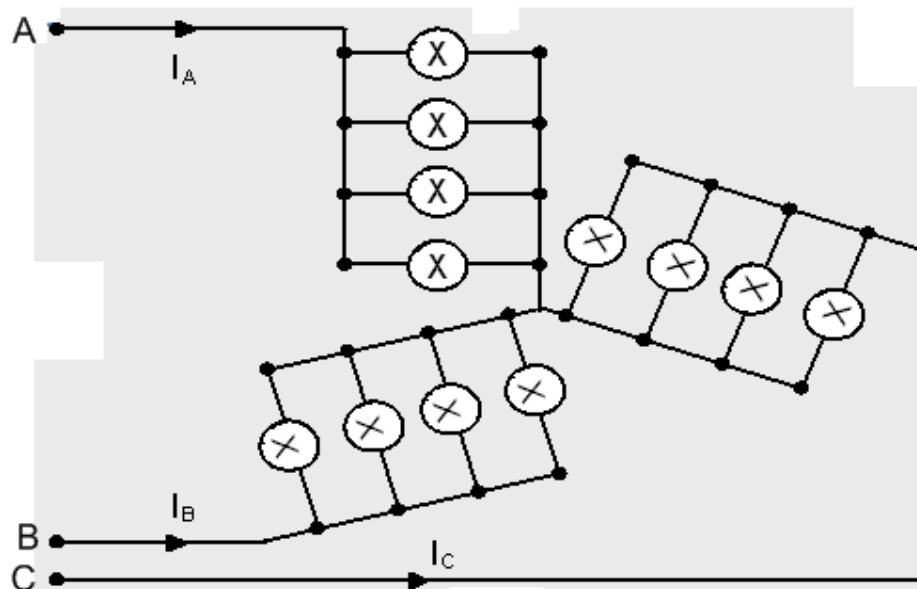
Определить: I_0 , I_1 , I_2 .



4. Дано:
 $U_{л}=220$ В,
 $r_{л}=80$ Ом
 (сопротивление
 каждой
 лампы).

Определить: I_A ,
 I_B , I_C .

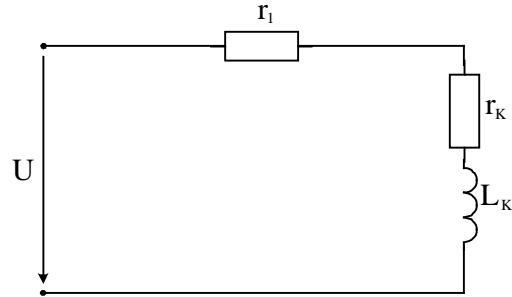
Вариант №9



1 . Построить кривые изменения напряжения и тока во времени . $U=100\sin(157t+\pi/10)$ В , $i=5\sin(157t-\pi/8)$ А . Чему равен сдвиг фаз между напряжением и током?

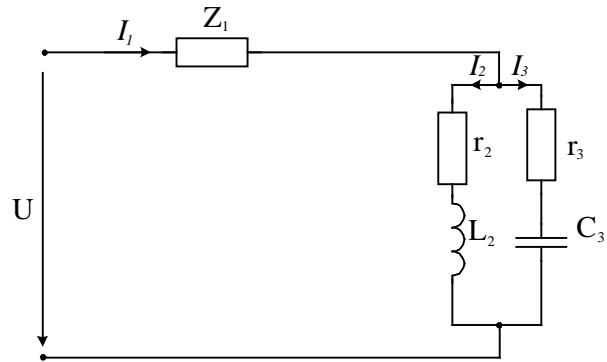
2 . Дано : $r_1=20$ Ом , $r_K=6.7$ Ом ,
 $L_K=42.7$ мГн , $U=220$ В , $f=50$ Гц.

Определить: I , P , Q , S , $\cos\phi$.



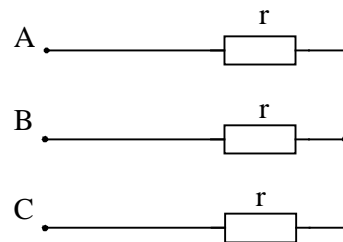
3. Дано: $Z_1=(6+j8)$ Ом,
 $Z_2=(20+j8)$ Ом, $Z_3=(10-j8)$ Ом,
 $I_1=6$ А.

Определить: I_2 , I_3 , U .



4 . Дано: $U_{Л}=380$ В, $r=220$ Ом.

Определить: I_A , I_B , I_C при коротком замыкании фазы А.

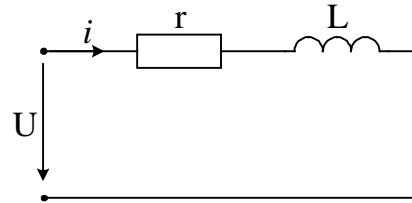


Вариант №10

1. Дано: $U=120\sin 1000t$ В,

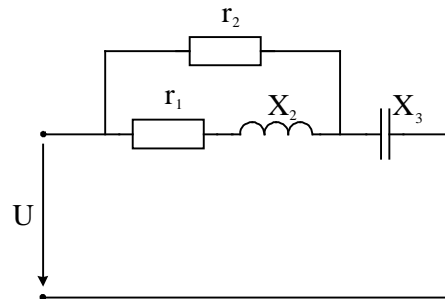
$i=8\sin(1000t-53^\circ)$ А.

Определить: r , L .



2. Дано: r_1 , r_2 , x_2 , X_3 .

Записать условие резонанса.

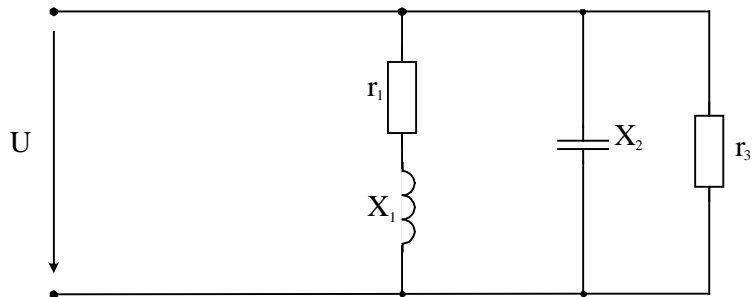


3. Дано: $r_1=|x_1|=20$ Ом ,

$x_2=40$ Ом , $r_3=25$ Ом ,

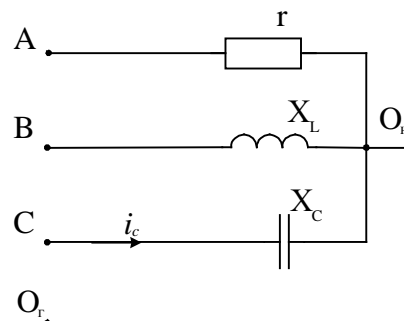
$U=100$ В .

Определить: P , Q , S всей цепи.



4. Дано: $U_{\Gamma}=380$ В, $r=|X_L|=|X_C|=220$ Ом .

Определить: I_C .



4. Краткие методические указания и примеры решения задач по выполнению домашней расчётно-графической работы по дисциплине “ Электротехника и электроника “ (Раздел “ Основы электрических цепей “)

Вариант задания для каждого студента задаются преподавателем тремя цифрами:

- 1-я цифра варианта – номер строки в таблице 1
- 2-я цифра варианта – номер строки в таблице 2
- 3-я цифра варианта – номер строки в таблице 3

1 . Введение

При изучении дисциплины “ Электротехника и электроника “ студентами всех неэлектрических специальностей в рабочих программах предусмотрено выполнение одной расчётно-графической работы по расчёту электрических цепей переменного синусоидального однофазного тока , причем по некоторым специальностям (БЖД) эта дисциплина изучается в одном семестре , а по специальности АСОИУ в учебных планах не предусмотрено практических занятия , поэтому , выполняя задание студенты должны освоить основной метод расчёта цепей переменного тока , уметь записывать законы Ома и Кирхгофа для цепей переменного тока , а также научиться строить и использовать векторные диаграммы при анализе электрических цепей . Кроме того студентам предлагается составить алгоритм решения и программу расчёта для заданной цепи . (см . содержание задания) .

По специальностям “ Тепловые электрические станции “ и “ Автоматизация технологических процессов и производств “ эта дисциплина изучается в течении 3-х семестров , начинается с 3-его семестра , при этом в третьем семестре у обеих специальностей изучается первый раздел : основы теории цепей , по которому также выполняется одна расчётно-графическая работа , выполняя которую студенты должны освоить основные методы расчёта однофазных цепей переменного тока , а студенты специальностей “ Тепловые электрические станции “ ещё научиться рассчитывать трехфазные цепи и строить топографические диаграммы для них , а также должны составить программу расчёта на любом алгоритмическом языке .

Вариант расчёта задаются тремя цифрами , при этом 1-я цифра – это номер столбца в таблице №1 , 2-ая цифра – номер столбца в таблице №2 и третья цифра – номер схемы (см . “ Расчётно-графическая работа №1 “) .

2 . Примеры расчёта :

Задача 1 .

Дано :

$$\begin{aligned}
 U &= 226 \sin(\omega t + 60^\circ) \text{ В ;} \\
 r_1 &= 50 \text{ Ом ; } x_1 = 10 \text{ Ом ;} \\
 r_2 &= |x_2| = 20 \text{ Ом ;} \\
 r_4 &= 6 \text{ Ом ; } x_4 = 8 \text{ Ом ;} \\
 x_3 &= 10 \text{ Ом .}
 \end{aligned}$$

Определить мгновенные значения токов символическим методом (рис . 1) .

Построить векторную топографическую диаграмму действующих значений напряжений и лучевую токов .

Проверить правильность расчёта с помощью баланса мощностей .

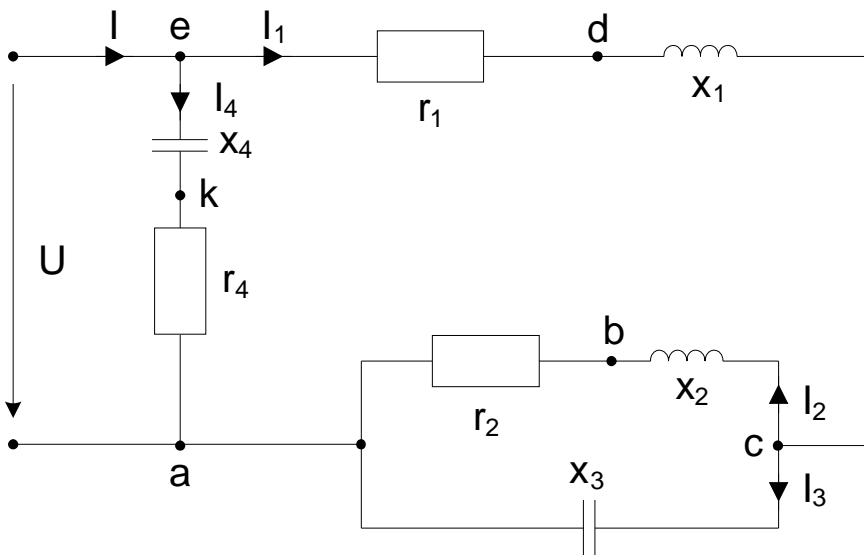


Рис . 1

Порядок расчёта

- 1 . Выбираем произвольное направление всех токов в ветвях .
- 2 . Выражаем приложенное напряжение и сопротивления ветвей в комплексном виде :

$$\begin{aligned}
 \overset{\square}{U} &= \frac{226}{\sqrt{2}} e^{j60^\circ} \text{ В ;} & \overset{\square}{U} &= 160 e^{j60^\circ} \text{ В}
 \end{aligned}$$

$\overset{\square}{U}$ – комплекс действующего значения напряжения . Комплексные сопротивления ветвей :

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= r_1 + jx_1 ; & Z_1 &= 5 + j10 = 11,8 e^{j63^\circ 30'} \text{ Ом .} \\
 Z_2 &= r_2 + jx_2 ; & Z_2 &= 20 + j20 = 28,2 e^{j45^\circ} \text{ Ом .} \\
 Z_3 &= -jx_3 ; & Z_3 &= -j10 = 10 e^{-j90^\circ} \text{ Ом .} \\
 Z_4 &= r_4 - jx_4 ; & Z_4 &= 6 - j8 = 10 e^{-j53^\circ 10'} \text{ Ом .}
 \end{aligned}$$

- 3 . Определяем комплексы действующих значений токов в ветвях по закону Ома :

$$I_4 = \frac{U}{Z_4} ; \quad I_4 = \frac{160e^{j60^\circ}}{10e^{-j53^\circ10'}} = 16e^{j113^\circ10'} \text{ A .}$$

$$I_1 = \frac{U}{Z_{1-3}} ;$$

$$Z_{1-3} = Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3} ;$$

$$Z_{1-3} = 5 + j10 + \frac{28,2e^{j45^\circ}10e^{-j90^\circ}}{20 + j20 - j10} = 5 + j10 + 12,5e^{-j71^\circ09'} = 5 + j10 + 3,9 - j11,935 ;$$

$$Z_{1-3} = 8,99 - j1,935 = 9,196e^{-j12^\circ09'} \text{ Ом .}$$

$$I_1 = \frac{100e^{j60^\circ}}{9,196e^{-j12^\circ09'}} = 17,319e^{j72^\circ09'} ;$$

$$I_1 = 17,319e^{j72^\circ09'} \text{ A .}$$

$$I_2 = I_1 - \frac{Z_3}{Z_2 + Z_3} ;$$

$$I_2 = 17,319e^{j72^\circ09'} \frac{10e^{-j90^\circ}}{20 + j10} = 7,767e^{-j44^\circ20'} \text{ A .}$$

$$I_3 = I_1 - I_2 ;$$

$$I_3 = 17,319e^{j72^\circ09'} - 7,767e^{-j44^\circ20'} = 5,342 + j16,564 - 5,553 + j5,429 = -0,211 + j21,993 = 21,994e^{j90^\circ33'}$$

$$I_3 = 21,994e^{j90^\circ33'} \text{ A .}$$

$$I = I_4 + I_1 ;$$

$$I = 16e^{j113^\circ10'} + 17,319e^{j72^\circ09'} = -6,336 + j14,68 + 5,342 + j16,564 = -0,994 + j31,244 = 31,26e^{j91^\circ50'}$$

$$I = 31,26e^{j91^\circ50'} \text{ A .}$$

4 . Мгновенные значения всех токов :

$$i = 31,26\sqrt{2} \sin(314t + 91^\circ50') \text{ A .}$$

$$i_1 = 17,319\sqrt{2} \sin(314t + 72^\circ09') \text{ A .}$$

$$i_2 = 7,767\sqrt{2} \sin(314t - 44^\circ20') \text{ A .}$$

$$i_3 = 21,994\sqrt{2} \sin(314t + 90^\circ33') \text{ A .}$$

$$i_4 = 16\sqrt{2} \sin(314t + 113^\circ10') \text{ A .}$$

5 . Проверим правильность расчёта токов :

$$S_{ucm} = IU ;$$

$$S_{ucm} = 160e^{j60^\circ} 31,26e^{-j91^\circ 50'} = 5001,6e^{-31^\circ 50'} = 4246,34 - j2635,84 ;$$

$$S_{ucm} = 4246,34 - j2635,84 \text{ E}\cdot\text{A} .$$

$$P_{ucm} = 4246,34 \text{ Вт} .$$

$$Q_{ucm} = 2635,84 \text{ Вар} .$$

$$P_{ucm} = \sum P_{nomp} ; \quad P_{ucm} = \pm \sum Q_{nomp} ;$$

$$P_{nomp} = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2 + I_3^2 r_3 ;$$

$$P_{nomp} = 17,319^2 5 + 7,767^2 20 + 16^2 6 = 4242,26 \text{ Вт} .$$

$$P_{nomp} = 4242,26 \text{ Вт} .$$

$$Q_{nomp} = I_1^2 x_1 - I_3^2 x_3 - I_4^2 x_4 + I_2^2 x_2 ;$$

$$Q_{nomp} = 17,319^2 10 + 7,767^2 20 - 16^2 8 - 21,99^2 10 = -2677,6 \text{ Вар} ;$$

$$Q_{nomp} = -2677,6 \text{ Вар} .$$

$$\Delta P = \left| \frac{P_{ucm} - P_{nomp}}{P_{ucm}} \right| 100\% = 0,096\% ;$$

$$\Delta Q = \left| \frac{Q_{ucm} - Q_{nomp}}{Q_{ucm}} \right| 100\% = 1,58\% .$$

Примечание :

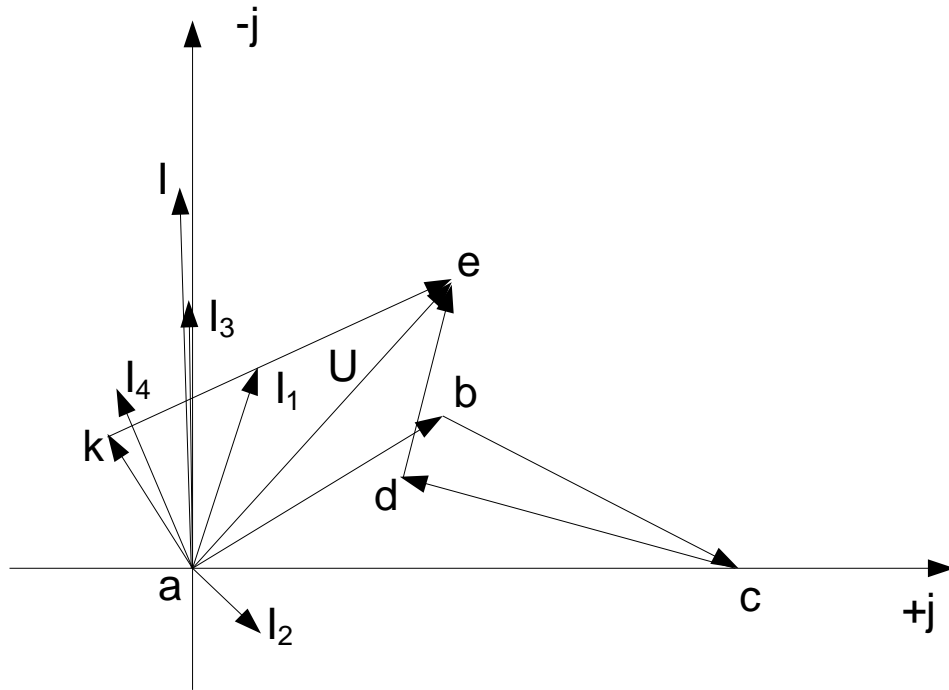
Ошибка в расчётах не должна превышать 3 % .

6 . Строим топографическую векторную диаграмму действующих значений напряжений и лучевую диаграмму токов .

Действующие значения падения напряжений :

$$\begin{array}{ll} U_{r1} = I_1 r_1 ; & U_{r1} = 86,6 \text{ В} ; \\ U_{x1} = I_1 x_1 ; & U_{x1} = 173,2 \text{ В} ; \\ U_{r2} = I_2 r_2 ; & U_{r2} = 155,3 \text{ В} ; \\ U_{x2} = I_2 x_2 ; & U_{x2} = 155,3 \text{ В} ; \\ U_{x3} = I_3 x_3 ; & U_{x3} = 219,9 \text{ В} ; \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 U_{r4} &= I_4 r_4 ; & U_{r4} &= 96 \text{ В} ; \\
 U_{x4} &= I_4 x_4 ; & U_{x4} &= 128 \text{ В} ; \\
 m_u &= 40 \text{ В/См} ; & m_i &= 5 \text{ А/См} ;
 \end{aligned}$$



Примечание :

Необходимо помнить , что построение топографической векторной диаграммы удобнее начинать с точки низшего потенциала для данной схемы . Стрелка напряжения на диаграмме должна указывать точку с высшим потенциалом в то время как на схеме стрелка напряжения указывает точку с низшим потенциалом .

Задача 2 .

Дано :

$$\begin{aligned}
 U_{AB} &= 380 \sqrt{2} \sin 314t \text{ В} ; \\
 r &= |x_L| = 110 \text{ Ом} ;
 \end{aligned}$$

Определить : комплексы действующих значения токов при нормальном режиме (Рис . 2) .

Построить примерную топографическую диаграмму напряжений и лучевую токов .

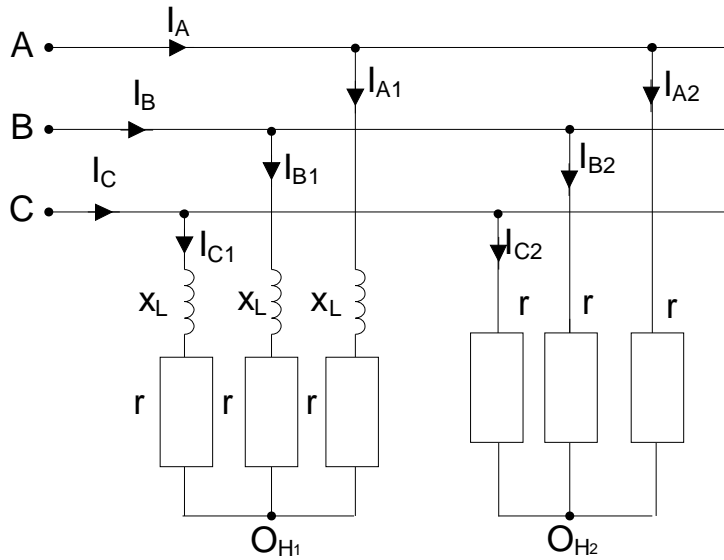


Рис . 2

Порядок расчёта :

1 . Записываем комплексы действующих значений линейных и фазных напряжений генератора

$$\overset{\square}{U_{AB}} = 380 \text{ В} ; \quad \overset{\square}{U_A} = \frac{380}{\sqrt{3}} e^{-j30^\circ} = 220 e^{-j30^\circ} \text{ В} ;$$

$$\overset{\square}{U_{BC}} = 380 e^{-j120^\circ} \text{ В} ; \quad \overset{\square}{U_B} = 220 e^{-j150^\circ} \text{ В} ;$$

$$\overset{\square}{U_{CA}} = 380 e^{j120^\circ} \text{ В} ; \quad \overset{\square}{U_C} = 220 e^{j90^\circ} \text{ В} ;$$

2 . Определяем комплексные значения токов . Расчёт ведём для одной фазы , так как нагрузка симметрична .

$$\overset{\square}{I_{A1}} = \frac{U_A}{r_1 + jx_1} ; \quad \overset{\square}{I_{A2}} = \frac{U_A}{r} ; \quad \overset{\square}{I_A} = \overset{\square}{I_{A1}} + \overset{\square}{I_{A2}} ;$$

$$\overset{\square}{I_{A1}} = \frac{220 e^{-j30^\circ}}{110 + j110} = \frac{220 e^{-j30^\circ}}{110\sqrt{2} e^{j45^\circ}} = 1,418 e^{-j75^\circ} ;$$

$$\overset{\square}{I_{A1}} = 1,418 e^{-j75^\circ} \text{ А} .$$

$$\overset{\square}{I_{A2}} = \frac{220 e^{-j30^\circ}}{110} = 2 e^{-j30^\circ} ;$$

$$\overset{\square}{I_{A2}} = 2 e^{-j30^\circ} \text{ А} .$$

$$\overset{\square}{I_A} = 1,418 e^{-j75^\circ} + 2 e^{-j30^\circ} = 0,367 - j0,936 + 1,732 - j1 = 2,86 e^{-j42^\circ 41'} ;$$

$$\vec{I}_A = 2,86e^{-j42^\circ 41'} \text{ A} .$$

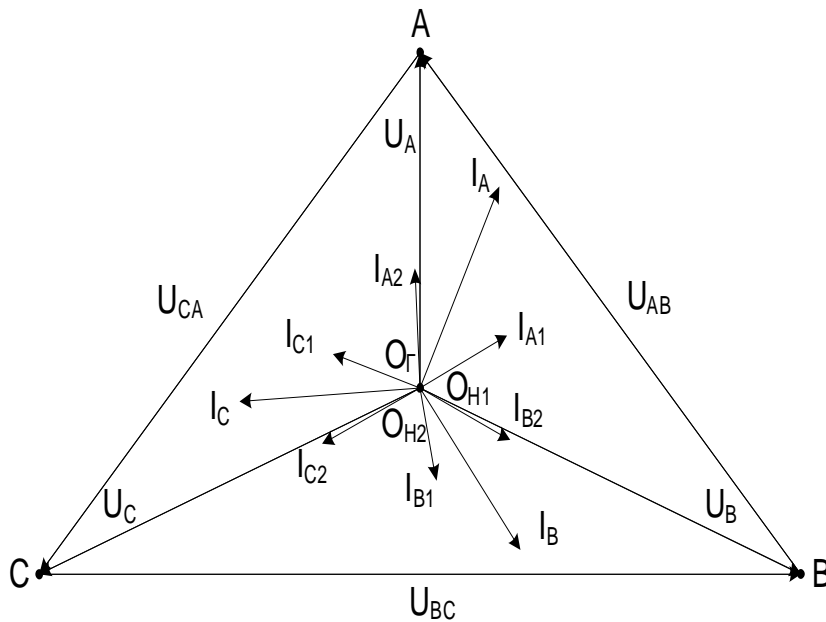
3 . Записываем остальные токи .

$$\vec{I}_{A1} = 1,418e^{-j195^\circ} \text{ A} ; \quad \vec{I}_{E1} = 1,418e^{j15^\circ} \text{ A} ;$$

$$\vec{I}_{B2} = 2e^{-j150^\circ} \text{ A} ; \quad \vec{I}_{C2} = 2e^{j90^\circ} \text{ A} ;$$

$$\vec{I}_B = 2,86e^{-j162^\circ 41'} \text{ A} ; \quad \vec{I}_C = 2,86e^{j78^\circ 19'} \text{ A} ;$$

4 . Примерная топографическая диаграмма напряжений и лучевая диаграмма токов .



Задача 3 .

Определить токи и построить примерную топографическую диаграмму в схеме предыдущей задачи при обрыве линейного провода А .

Решение :

1 . Так как произошел обрыв линейного провода А , то

$$\vec{I}_A = 0 ; \quad \vec{I}_{A1} = 0 ; \quad \vec{I}_{A2} = 0 ;$$

$$\vec{I}_{B1} = \frac{U_{B1}}{r + jx_4} ; \quad \vec{I}_{C1} = -\frac{U_{C1}}{r + jx_4} ;$$

$$\vec{I}_{B1} = -\vec{I}_{C1} = \frac{U_{BC}}{2(r + jx_4)} ;$$

$$I_{B2} = -I_{C2} = \frac{U_{BC}}{2r} ;$$

$$I_{B1} = \frac{380e^{-j120^\circ}}{2(110 + j110)} = 1,225e^{-j165^\circ} ;$$

$$I_{B1} = 1,225e^{-j165^\circ} \text{ A .}$$

$$I_{C1} = 1,225e^{j15^\circ} \text{ A .}$$

$$I_{B2} = \frac{380e^{-j120^\circ}}{220} = 1,73e^{-j120^\circ} ;$$

$$I_{B2} = 1,73e^{-j120^\circ} \text{ A .}$$

$$I_{C2} = 1,73e^{j60^\circ} \text{ A ;}$$

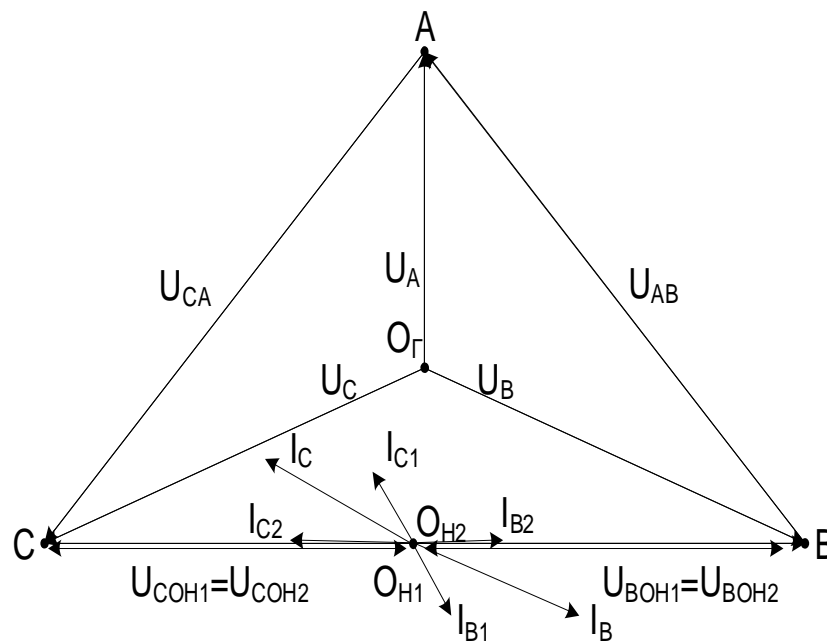
$$I_B = I_{B1} + I_{B2} ;$$

$$I_C = I_{C1} + I_{C2} ;$$

$$I_B = 2,73e^{j221^\circ 36'} \text{ A .}$$

$$I_C = 2,73e^{j41^\circ 36'} \text{ A .}$$

2 . Примерная топографическая диаграмма напряжений и лучевая токов :



Задача 4 .

Дано : Симметричный генератор с $I_{AB} = 380\sqrt{2} \sin(\omega t + 90^\circ)$ В . Питает трехфазную цепь (Рис . 4)

$$r=38\text{Ом}; \quad x_L=|x_C|=19\text{Ом} .$$

Определить : линейные и фазные токи и построить примерную топографическую диаграмму напряжении и лучевую токов .

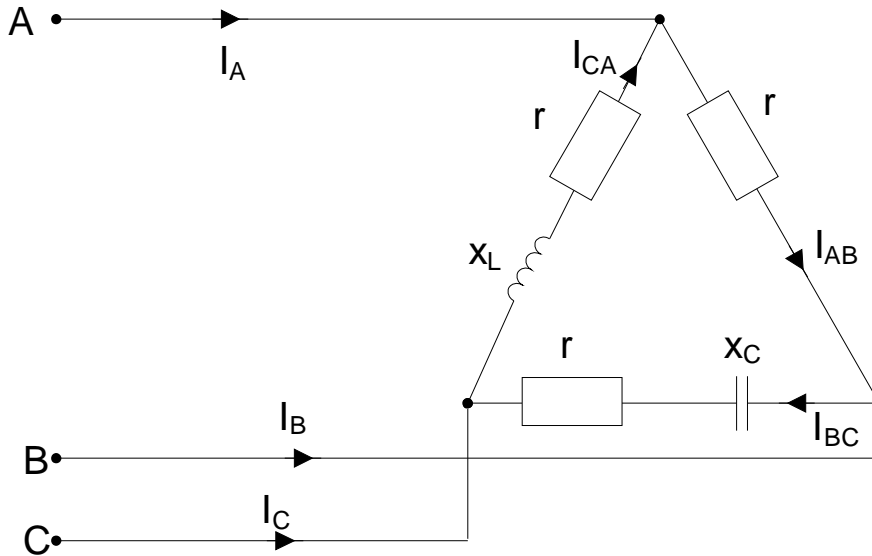


Рис . 4

Порядок расчёта :

1 . Определяем фазные токи .

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}} = \frac{U_{AB}}{r} ;$$

$$I_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{U_{BC}}{r - jx_C} ;$$

$$I_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}} = \frac{U_{CA}}{r + jx_L} ;$$

$$I_{AB} = \frac{380e^{j90^\circ}}{38} = 10e^{j90^\circ} ; \quad I_{AB} = 10e^{j90^\circ} \text{ А .}$$

$$I_{BC} = \frac{380e^{-j30^\circ}}{38 - j19} = 8,94e^{-j3^\circ30'} ; \quad I_{BC} = 8,94e^{-j3^\circ30'} \text{ А .}$$

$$\overset{\square}{I_{CA}} = \frac{380e^{j210^\circ}}{38 + j19} = 8,94e^{j183^\circ30'} ; \quad \overset{\square}{I_{CA}} = 8,94e^{j183^\circ30'} \text{ A .}$$

2 . Определяем линейные токи .
По первому закону Кирхгофа :

$$\overset{\square}{I_A} + \overset{\square}{I_{CA}} - \overset{\square}{I_{AB}} = 0 ;$$

$$\overset{\square}{I_A} = \overset{\square}{I_{AB}} - \overset{\square}{I_{CA}} ; \quad \overset{\square}{I_A} = 13,798e^{j49^\circ43'} \text{ A .}$$

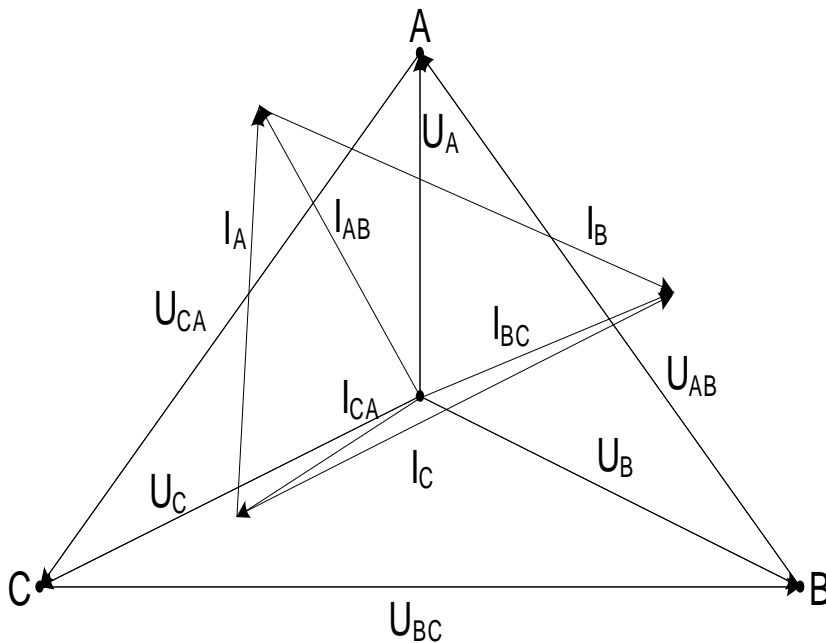
$$\overset{\square}{I_B} - \overset{\square}{I_{BC}} + \overset{\square}{I_{AB}} = 0 ;$$

$$\overset{\square}{I_B} = \overset{\square}{I_{BC}} - \overset{\square}{I_{AB}} ; \quad \overset{\square}{I_B} = 13,798e^{j49^\circ43'} \text{ A .}$$

$$\overset{\square}{I_C} + \overset{\square}{I_{BC}} - \overset{\square}{I_{CA}} = 0 ;$$

$$\overset{\square}{I_C} = \overset{\square}{I_{CA}} - \overset{\square}{I_{BC}} ; \quad \overset{\square}{I_C} = -17,84 \text{ A .}$$

3 . Примерная топографическая диаграмма напряжений и токов .



Задача 5 .

Дано : К симметричному трехфазному генератору с линейным напряжением $U_{AB} = 220\sqrt{2} \sin 314t$ В подключена нагрузка (Рис . 5) с $r=110$ Ом .

Определить токи в цепи при коротком замыкании фазы А .

Построить примерную топографическую диаграмму напряжений и токов .

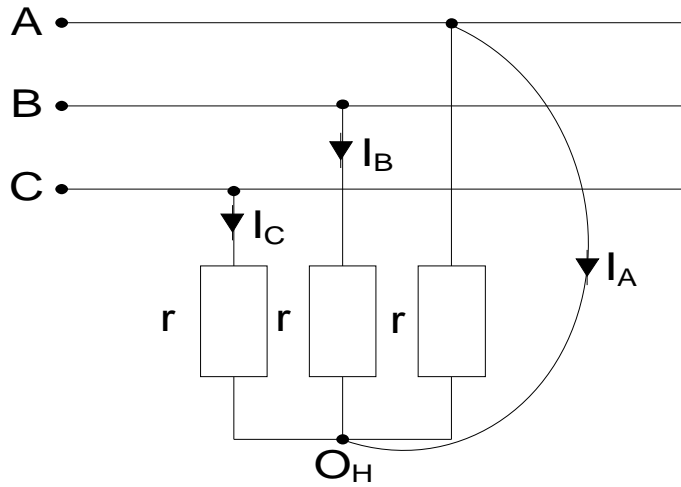


Рис . 5

Решение :

1 . Определяем токи .

$$I_B = \frac{U_{BOH}}{r} ;$$

$$U_{BOH} = U_{BA} ;$$

$$I_B = \frac{U_{BA}}{r} ;$$

$$U_{BA} = -U_{AB} = U_{AB} e^{-j180^\circ} ;$$

$$I_C = \frac{U_{COH}}{r} ;$$

$$U_{COH} = U_{CA} ;$$

$$I_C = \frac{U_{COH}}{r} ;$$

$$I_B = \frac{220e^{-j180^\circ}}{110} = 2e^{-j180^\circ} ; \quad I_B = 2e^{-j180^\circ} \text{ А .}$$

$$I_C = \frac{220e^{j120^\circ}}{110} = 2e^{j120^\circ} ; \quad I_C = 2e^{j120^\circ} \text{ А .}$$

По первому закону Кирхгофа для узла O_H :

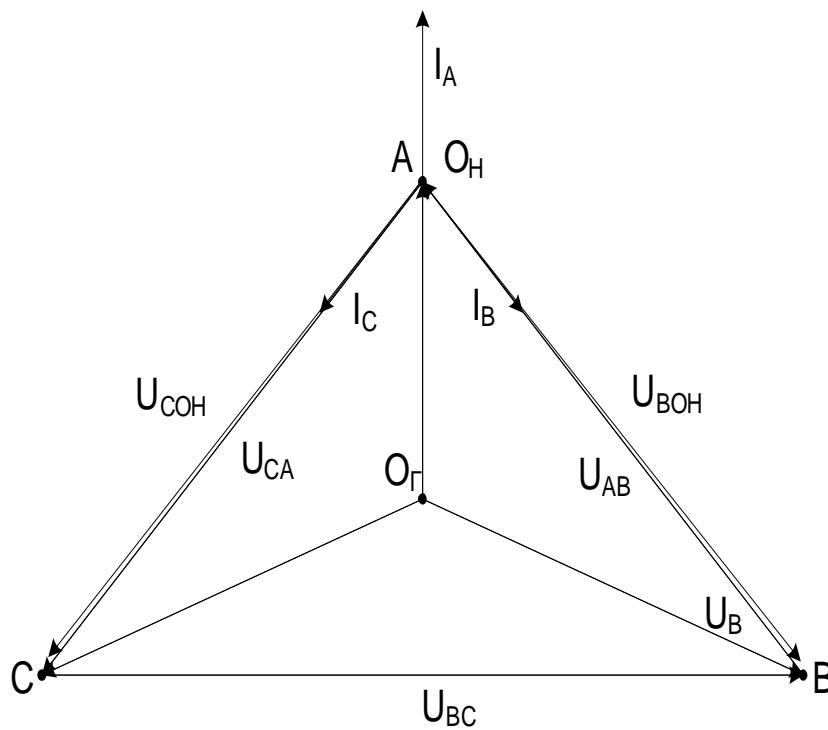
$$I_B + I_A + I_C = 0 ;$$

$$I_A = -I_C - I_B ;$$

$$I_A = -2e^{-j180^\circ} - 2e^{j120^\circ} = 2 + 1 - j1,73 = 3 - j1,73 = 3,46e^{-j29^\circ 58'} ;$$

$$I_A = 3,46e^{-j29^\circ 58'} \text{ A} .$$

2 . Примерная топографическая диаграмма .



5. Расчетно-графическая работа
для специальности 140101 – Тепловые электрические
станции.

**РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО И
ТРЕХФАЗНОГО ФАЗНОГО ТОКОВ.**

Задача 1.

Содержание работы

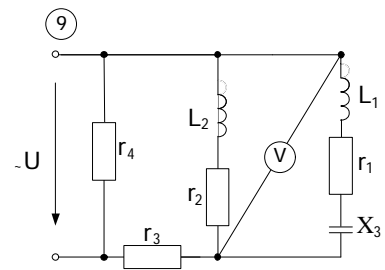
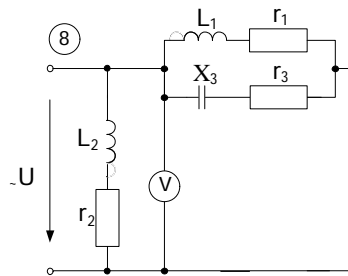
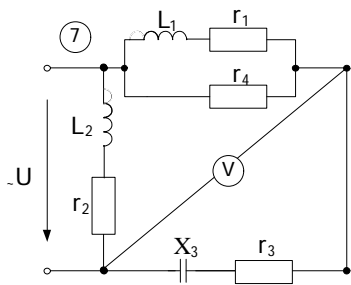
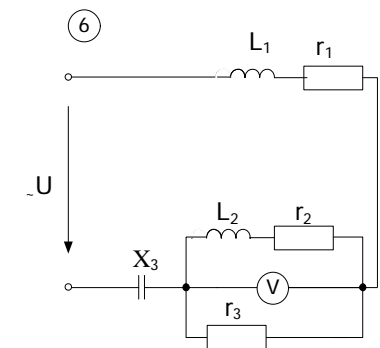
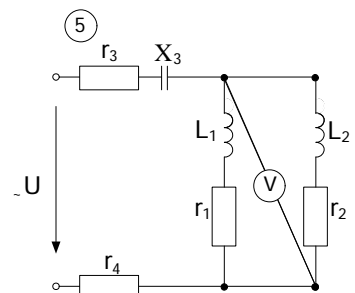
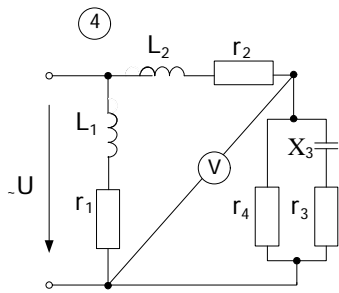
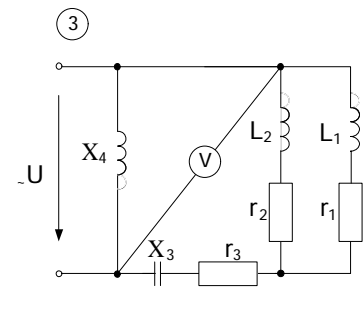
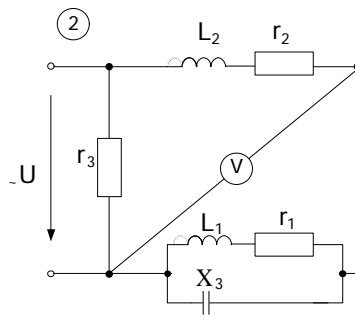
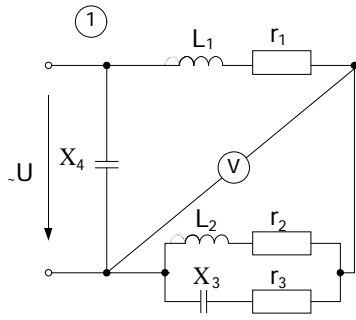
1. Определить комплексы действующих значений токов в схеме символическим методом (согласно варианта).
2. Записать мгновенные значения всех токов.
3. Проверить правильность расчетов токов с помощью баланса активных и реактивных мощностей.
4. Построить (в масштабе) лучевую векторную диаграмму действующих значений токов и топографическую векторную диаграмму действующих значений напряжений.
5. Определить показания вольтметра.
6. Составить программу расчета на любом алгоритмическом языке.

Таблица 1

№	$r_3, \text{ Ом}$	$r_4, \text{ Ом}$	$x_3, \text{ Ом}$	$x_4, \text{ Ом}$
1	30	40	50	30
2	40	50	40	30
3	50	30	50	40
4	40	30	50	20
5	50	40	30	50
6	30	50	50	20
7	50	50	20	60
8	40	60	30	60
9	60	30	40	20

Таблица 2

№	$r_1, \text{ Ом}$	$L_1, \text{ мГн}$	$r_2, \text{ Ом}$	$L_2, \text{ мГн}$	$U, \text{ В}$
1	20	63,5	40	95,4	$536\sin(314t-30)$
2	40	95,4	30	127	$536\sin(314t+90)$
3	30	127	20	63,5	$536\sin(314t-90)$
4	50	63,5	40	127	$536\sin(314t+30)$
5	40	127	50	95,4	$311\sin(314t-30)$
6	50	95,4	30	63,5	$311\sin(314t+30)$
7	10	127	40	95,4	$311\sin(314t+90)$
8	60	95,4	50	127	$311\sin(314t+0)$
9	30	63,5	60	127	$311\sin(314t-90)$



Задача 2.

Содержание работы

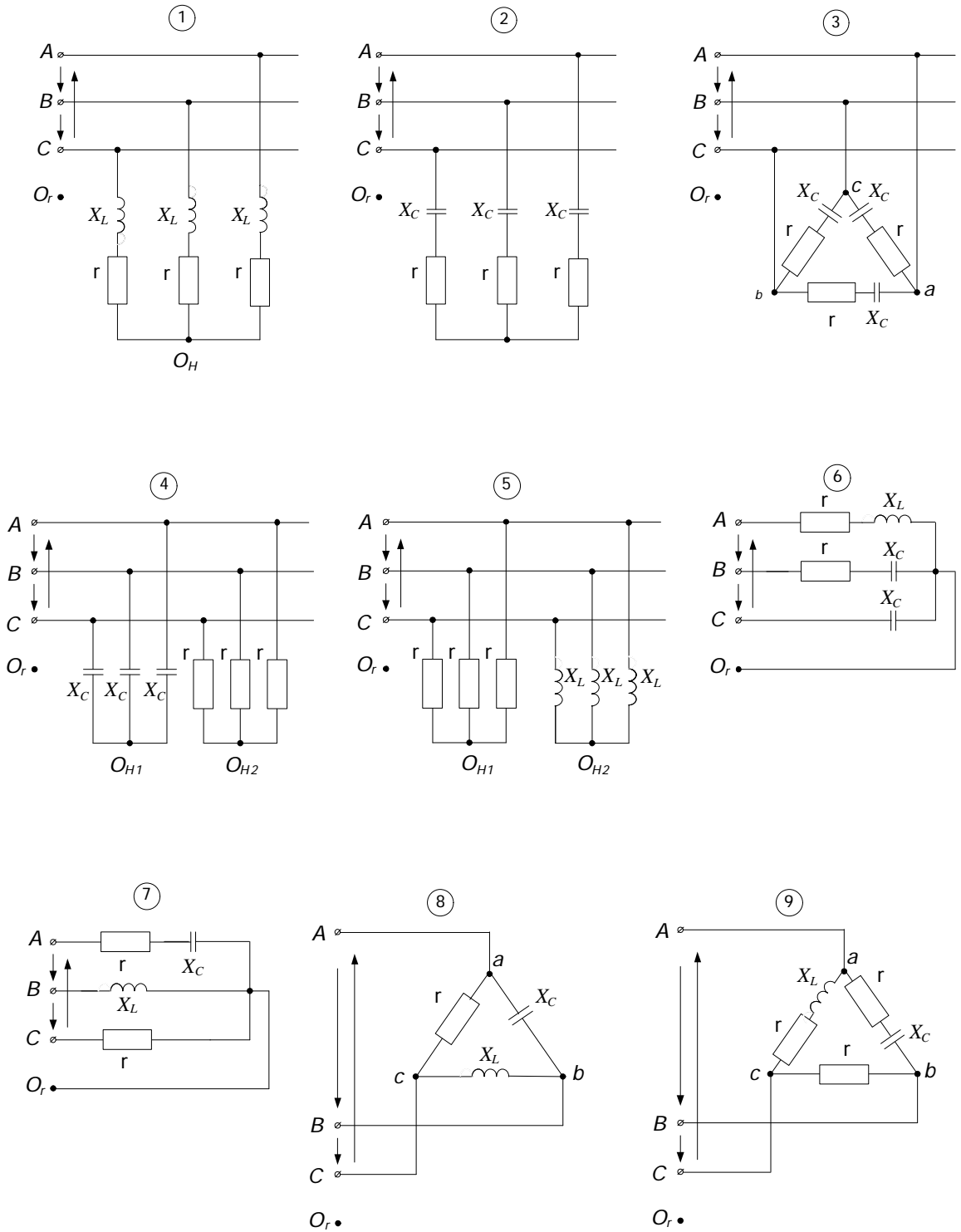
1. Определить комплексы действующих значений токов в трехфазной цепи при нормальном режиме (генератор питающий трехфазную цепь-симметричный).
2. Определить комплексы действующих значений всех токов:
 - а) при обрыве линейного провода А (в схемах 4, 5, 6, 7);
 - б) при обрыве фазы В (в схемах 3, 8, 9);
 - в) при коротком замыкании любой фазы нагрузки (в схемах 1, 2).
3. Построить примерные векторные топографические диаграммы напряжений и лучевые диаграммы токов для п.1 и п.2.

Таблица 1

№	r, Ом	X_L, Ом	X_C, Ом
1	30	10	30
2	10	30	10
3	20	60	20
4	5	10	15
5	10	15	5
6	15	5	10
7	60	10	20
8	10	40	30
9	40	20	20

Таблица 2

№	U_{AB}, В
1	$380\sqrt{2}\sin(314t+45)$
2	$380\sqrt{2}\sin 314t$
3	$220\sqrt{2}\sin(314t+60)$
4	$220\sqrt{2}\sin(314t-60)$
5	$380\sqrt{2}\sin(314t-60)$
6	$220\sqrt{2}\sin 314t$
7	$380\sqrt{2}\sin(314t-45)$
8	$380\sqrt{2}\sin(314t+90)$
9	$220\sqrt{2}\sin(314t+90)$



6. Методические указания по выполнению лабораторных работ.

Лабораторные работы по разделу

«Электрические цепи» выполняются на стендах ЭВЧ по учебному пособию,
изданному в АмГУ

Автор Вилесова Л.А.

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ

Успешное выполнение лабораторных работ может быть достигнуто в том случае, если студент отчетливо представляет себе цель эксперимента и ожидаемые результаты, поэтому важным условием обстоятельности проводимых исследований является тщательная подготовка к каждой лабораторной работе.

На вводном занятии группа делится преподавателем на бригады (в составе двух-трех человек). За каждой бригадой закрепляется постоянное место на весь период работы в лаборатории. Состав бригад на следующих занятиях в течение семестра остаётся неизменным.

I. Подготовка к выполнению лабораторной работы

Подготовка к лабораторной работе осуществляется студентом до аудиторных занятий в часы, отведенные на самостоятельную работу.

При подготовке к лабораторной работе студент должен:

- 1) внимательно ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чём состоит цель и задача работы;
- 2) по лекционному курсу и рекомендованным литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной работе;
- 3) ознакомиться с порядком выполнения работы;
- 4) выполнить предварительный теоретический расчет;
- 5) приготовить в рабочей тетради заготовку отчета лабораторной работы, в которой указать:
 - титульный лист;
 - название работы и её цель;
 - план проведения опытов;
 - электрические схемы изучаемых цепей (монтажные и принципиальные);
 - таблицы для записи результатов наблюдений и расчетов;
 - расчётные формулы, необходимые для промежуточных вычислений в процессе работы;
 - выполненный предварительный теоретический расчет.

Студент обязан приходить на занятие подготовленным. Наличие заготовки к лабораторной работе является обязательным условием допуска студента к выполнению лабораторной работы. Студенты, не готовые к занятиям, к выполнению лабораторной работы не допускаются.

II. Выполнение лабораторной работы

Перед выполнением работы преподаватель проверяет степень подготовленности каждого студента. Критерием допуска к работе является: понимание студентом цели работы, знание метода и порядка выполнения экспериментов, а также представление об ожидаемых результатах.

За время, отведенное на выполнение лабораторной работы в лаборатории, студент должен:

- Ознакомиться со стендом, измерительными приборами и дополнительным оборудованием, используемым в процессе выполнения работы. Выбрать приборы, необходимые для выполнения работы или подобрать пределы измерений на многопредельных приборах так, чтобы значения измеряемых величин находились в пределах 20-95% шкалы прибора.
- Собрать цепь в соответствии со схемой. Сборку цепи удобнее производить в следующем порядке: начав сборку главной последовательной цепи с одного зажима источника, закончить ее на другом зажиме. К этой цепи в соответствующих схеме местах присоединяются остальные параллельные ветви.

- Предъявить собранную цепь для проверки преподавателю. Только после его разрешения к цепи может быть подано напряжение.
- Выполнить все измерения, и провести необходимые по ходу работы расчеты (остальные расчеты делаются позже при подготовке отчета по лабораторной работе);
- При выполнении работы следует соблюдать правила техники безопасности.
- Обращаться с приборами и оборудованием следует бережно и аккуратно. Применять приборы только в соответствии с их назначением. Студенты несут материальную ответственность за повреждение приборов, произошедшее по их вине.
- В конце занятия (или по завершению измерений), не разбирая электрической цепи, предъявить преподавателю результаты измерений для проверки. Для этого строят черновик полученной экспериментальной кривой (или векторной диаграммы). Если результат опыта не верен, опыт повторяется вновь. Если результаты удовлетворительны, преподавателем делается отметка о выполнении студентом лабораторной работы (ставится подпись и дата в отчете студента). Отчеты без подписи преподавателя в дальнейшем к зачёту не принимаются;
- Разобрать электрическую цепь (с разрешения преподавателя) и привести в порядок рабочее место после окончания работы;

III. Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы

Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы осуществляется студентом в часы, отведенные на самостоятельную работу. *К следующему (после выполнения очередной лабораторной работы) занятию каждый студент должен предоставить отчет о выполненной лабораторной работе.* Он составляется на основе записей в рабочей тетради и должен содержать:

- титульный лист;
- номер, название, цель работы и дату её выполнения;
- результаты измерений и вычислений в виде таблиц (или ином виде, согласно методическим рекомендациям к данной лабораторной работе);
- расчетные формулы, по которым производились вычисления с примером вычисления по каждой формуле;
- расчеты погрешностей измерений и записи результатов измерений с учетом погрешности (если это предусмотрено заданием на лабораторную работу);
- схемы, графики, диаграммы и т.п., в соответствии с заданием на лабораторную работу;
- основные выводы по результатам работы на основании сравнения полученных результатов с данными теоретических расчетов.

Графический материал к лабораторным работам (графики, диаграммы и т.п.) выполняется на миллиметровой бумаге карандашом с помощью чертежных принадлежностей.

Электрические схемы вычерчиваются в соответствии с принятым ГОСТом и обозначениями, для этого можно воспользоваться линейкой-графаретом.

Графики должны иметь размер не менее половины тетрадной страницы (не менее 10x10 см), выполняться в прямоугольной системе координат с соблюдением масштаба по координатным осям. Масштаб графиков должен быть удобным для построения и использования. Для этого следует брать в 1 см число измерительных единиц кратное 10 или одному из чисел ряда 1; 2; 2,5; 5. (Например: для напряжения масштаб $\mu V=10$ В/см, для тока $I=0,2$ А/см.) Произвольный перенос начала координат не допускается. Если через полученные опытные точки нельзя провести плавную кривую и при соединении получается зигзагообразная линия, то все-таки следует провести плавную линию, захватывающую наибольшее количество точек или занимающую среднее положение между ними.

После оформления отчета студент готовится к защите лабораторной работы, изучая теоретическую базу данной темы, ориентируясь на контрольные вопросы.

Защита выполненных лабораторных работ проводится преподавателем в устной (или в письменной) форме в виде ответов на вопросы по теме лабораторной работы, после чего выставляется оценка за выполнение лабораторной работы.

Студент должен регулярно отчитываться по выполненным лабораторным работам согласно установленному графику занятий. Лабораторная работа, пропущенная студентом, выполняется по согласованию с деканатом и преподавателем по дополнительному расписанию.

Тетрадь с отчетами выполненных работ предьявляется экзаменатору. Выполнение лабораторных работ и отчет по ним в полном объеме является обязательным условием допуска к экзамену по данной дисциплине.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Оценка «5» ставится в следующем случае:

- лабораторная работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений;
- студент самостоятельно собрал схему и провел все опыты в соответствии с порядком выполнения работы и с соблюдением требований техники безопасности;
- в отчете правильно и аккуратно выполнил все записи, таблицы, графики, вычисления;
- правильно выполнил расчет погрешностей измерений;
- самостоятельно сделал выводы по результатам выполнения лабораторной работы, устанавливающие связь между теоретическим материалом и полученными практическими результатами;
- при ответе на контрольные вопросы студент обнаруживает верное понимание физической сущности рассматриваемых явлений, дает точное определение и истолкование основных понятий, законов и теорий, правильное определение физических величин, и их единиц измерения и способов их измерения.

Оценка «4» ставится в следующем случае:

- выполнение лабораторной работы удовлетворяет основным требованиям к работе на оценку «5», но студент допустил недочеты или негрубые ошибки, не повлиявшие на результаты выполнения работы;
- ответы на контрольные вопросы удовлетворяют основным требованиям к ответам на оценку «5», но содержат неточности в изложении фактов, определений, понятий, объяснении взаимосвязей и выводах. Неточности легко исправляются при ответе на дополнительные вопросы.

Оценка «3» ставится в следующем случае:

- результат выполненной части лабораторной работы таков, что позволяет получить правильный вывод, но в ходе проведения опытов и измерений были допущены ошибки;
- основная часть ответов на контрольные вопросы удовлетворяет требованиям к ответам на оценку «4», но в ответе обнаруживаются отдельные пробелы, не препятствующие дальнейшему усвоению программного материала.

Оценка «2» ставится в следующем случае:

- результаты выполнения лабораторной работы не позволяют сделать правильный вывод, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно.

Если за выполнения работы выставляется оценка «2», то работа выполняется заново.

Во всех случаях оценка снижается, если:

- студентом не соблюдались правила техники безопасности при проведении эксперимента;
- отчет выполнен небрежно, без соблюдения правил оформления.

ОБРАЗЕЦ
оформления титульного листа отчета по лабораторной работе

**Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
Государственное учреждение высшего профессионального образования
Амурский государственный университет (ГОУВПО «АмГУ»)**

Кафедра АПП и Э

Лабораторная работа
по электротехнике и основам электроники
№ 5

Резонанс напряжений

Выполнил: студент _____
(фамилия, и. о.)

Группа _____

Дата выполнения _____

Отчет принял: _____
(подпись и фамилия преподавателя)

Дата _____

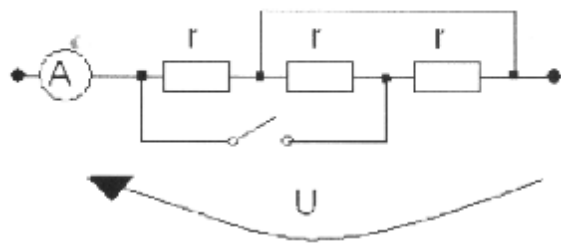
Оценка _____

2006 г.

7. Задачи
для проверки остаточных знаний
по
дисциплине
«Электротехника и Электроника»
(часть 1)

Вариант №1

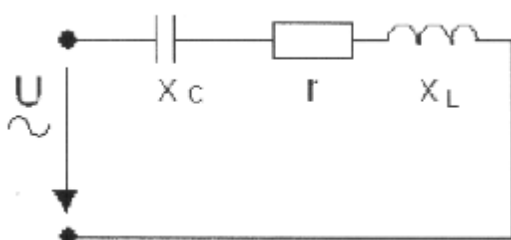
Задача №1



Дано: До замыкания рубильника амперметр показывал 6А. Что он покажет после замыкания рубильника, если U - приложенное постоянное напряжение?

- Ответ: 1. 0; 2. 2 А;
3. 18А; 4. 9А;
5. Бесконечность.

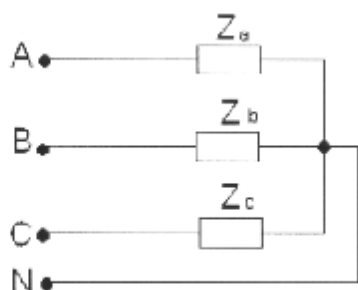
Задача №2.



Дано: Определить угловую частоту и сопротивление при резонансе для цепи, если $\gamma=10$ Ом, $C=10$ мкФ, $L=100$ мГн.

- Ответ: 1. $1/\pi$ рад/с, 16 Ом; 2. $2\pi \cdot 10^3$ рад/с, 10 Ом;
3. 10^3 рад/с, 10 Ом;
4. $3,33 \cdot 10^{-3}$ рад/с, 120 Ом;
5. 10^3 рад/с, 210 Ом.

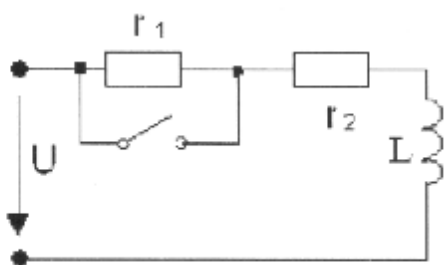
Задача №3.



Дано: Как изменится ток в нейтральном проводе при обрыве одной из фаз? ($Z_a \neq Z_b \neq Z_c$).

- Ответ: 1. Не изменится; 2. Увеличится;
3. Уменьшится; 4. Уменьшится в $\sqrt{3}$ раз.

Задача №4.



Дано: В цепи происходит переходной процесс при замыкании ключа. Определить $i(0)$, если $U=127\sin(\omega t - 50^\circ)$; $r_1=r_2=2$ Ом; $\omega L=3$ Ом.

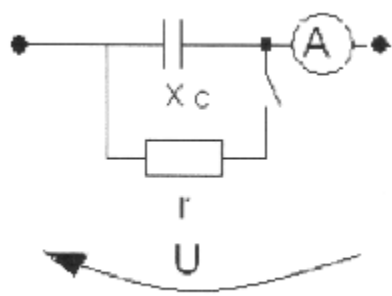
- Ответ: 1. 25,4 А; 2. -25,35 А;
3. $25,4 \sin(\omega t - 86,50^\circ)$; 4. 25,35 А.

Вариант №2

Задача №1. От вибрации нарушился контакт стоваттной лампочки с патроном. Какова наибольшая мощность, которая может расходоваться на нагрев патрона, если сопротивление лампочки считать неизменным?

Ответ: 1.0; 2. 10 Вт; 3. 25 Вт; 4. 50 Вт; 5. 75 Вт.

Задача №2.



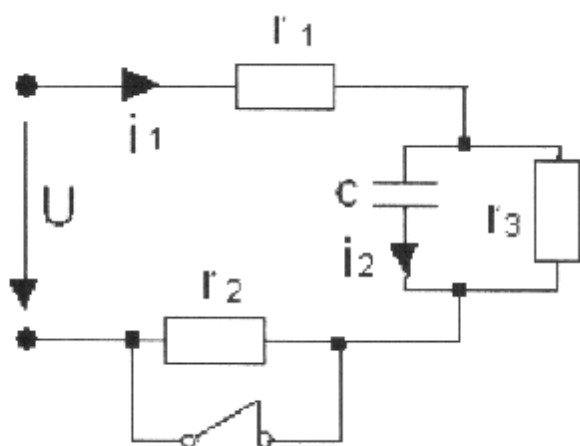
Как изменится показание амперметра электродинамической системы после замыкания рубильника, если $r=|X_c|$, $U=U_m \sin \omega t$?

Ответ: 1. Возрастает в 2 раза; 2. Уменьшится в 2 раза;
3. Возрастает в $\pi/2$ раз; 4. Уменьшится в $\pi/2$ раз;
5. Не изменится.

Задача №3. Три потребителя с одинаковыми сопротивлениями $r_1=r_2=r_3=r$ соединены треугольником и включены в трехфазную цепь. Как изменятся линейные токи, если потребители соединены звездой?

Ответ: 1. Не изменится; 2. Уменьшатся в $\sqrt{3}$ раз; 3. Уменьшатся в 3 раза;
4. Уменьшатся в 2 раза.

Задача №4.

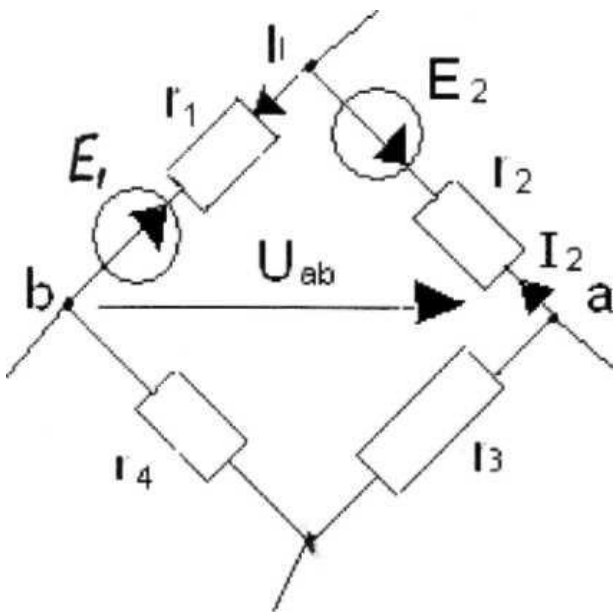


Дано: В цепи происходит переходной процесс при размыкании ключа. Определить $i_2(0)$ в цепи в момент коммутации, $r_1=2$ Ом; $r_2=8$ Ом; $r_3=6$ Ом.

Ответ: 1. 10 А; 2. 5 А; 3. -8 А; 4. 8 А; 5. 6 А.

Вариант №3

Задача №1



Дано: Задан контур, входящий в сложную цепь постоянного тока. Выразить напряжение U_{ab} через величины $E_1, r_1, I_1, E_2, I_2, r_2$.

Ответ:

1. $U_{ab} = E_1 + E_2 + I_1 r_1 + I_2 r_2$;
2. $U_{ab} = E_1 - E_2 + I_1 r_1 + I_2 r_2$;
3. $U_{ab} = -E_1 + E_2 - I_1 r_1 + I_2 r_2$;
4. $U_{ab} = E_1 + E_2 - I_1 r_1 - I_2 r_2$;
5. $U_{ab} = E_1 + E_2 - I_1 r_1 - I_2 r_2$;

Задача №2. Дано: В цепи с последовательным соединением $r=10$ Ом и $C=318$ мкФ протекает ток $i=5\sin 314t$. Чему равно мгновенное значение приложенного напряжения?

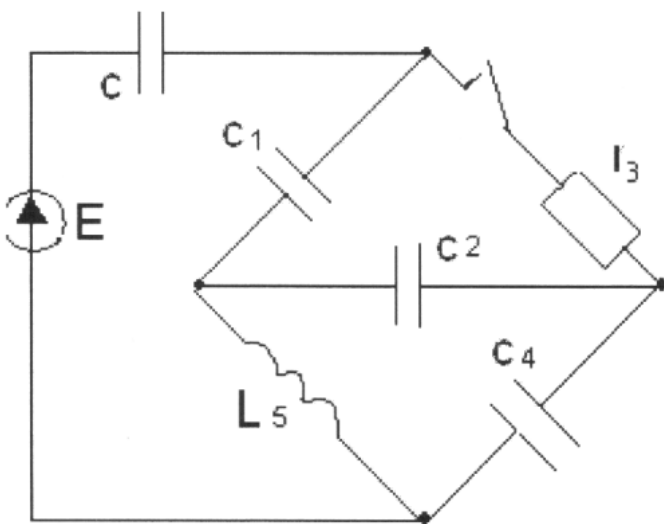
Ответ:

1. $U=71\sin(314t+45^\circ)$;
2. $U=71\sin(314t-45^\circ)$;
3. $U=50,5\sin(314t+45^\circ)$;
4. $U=50,5\sin(314t-45^\circ)$;
5. $U=71\sin 314t$.

Задача №3. Дано: Полная мощность, потребляемая трехфазной нагрузкой, $S=1000$ ВА. Реактивная мощность $Q=600$ Вар. Определить коэффициент мощности.

Ответ: 1. 0,6; 2. 0,7; 3. 0,8; 4. 0,9.

Задача №4



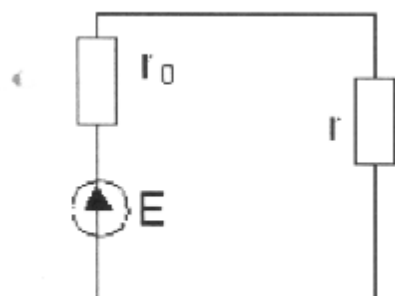
Дано: Определить порядок дифференциального уравнения (степень характеристического уравнения), описывающего свободный процесс в электрической цепи при переходном режиме, который возникает, если замыкается ключ.

Ответ: 1. 1; 2. 2; 3. 3; 4. 4; 5. 5.

Вариант №4

Задача №1

Дано: При каком соотношении r и r_0 в нагрузке будет выделяться максимальная мощность?



Ответ:

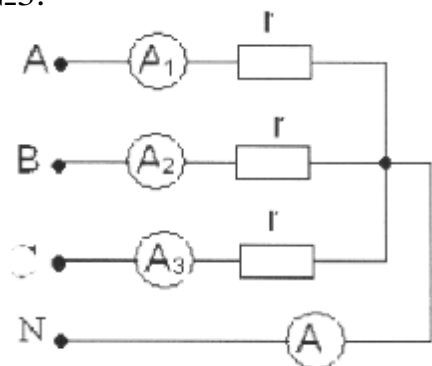
1. $r \ll r_0$; 2. $r = r_0$; 3. $r \gg r_0$; 4. $r = 2r_0$; 5. $r = r_0/2$.

Задача №2. Дано: Цепь синусоидального тока имеет параметры: $r = 40$ Ом, $X_L = 40$ Ом. Определить мгновенное значение общего напряжения и на зажимах цепи, если напряжение на индуктивности $U_L = 240 \sin(\omega t + 150^\circ)$ В.

Ответ:

1. $U = 480 \sin(\omega t + 150^\circ)$ В; 2. $U = 338 \sin(\omega t + 105^\circ)$ В; 3. $U = 680 \sin(\omega t + 195^\circ)$ В;
4. $U = 338 \sin \omega t$ В; 5. $U = 240$ В.

Задача №3.

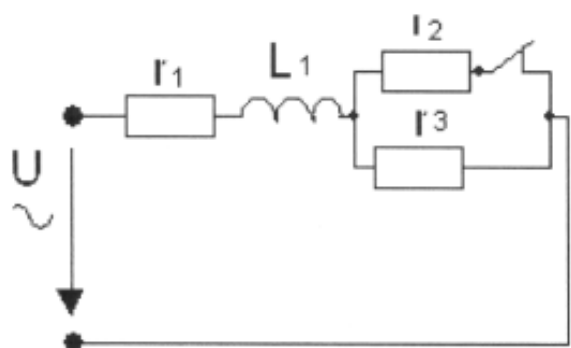


Показания амперметров $I_{A1} = I_{A2} = I_{A3} = 2$ А. Определить показание I_A амперметра в нейтральном проводе?

Ответ: 1.6 А; 2. 0 А;

3. $2\sqrt{2}$ А; 4. $2\sqrt{3}$ А.

Задача №4



Дано: В цепи происходит переходной режим при размыкании ключа. Определить значение напряжения $U_{L1}(0)$ цепи в момент коммутации, если

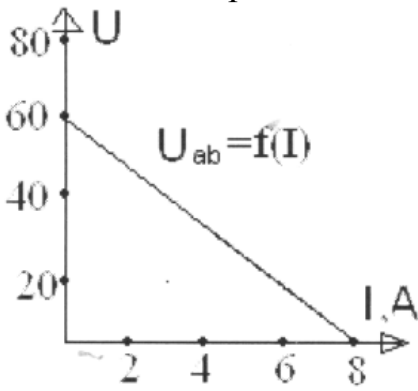
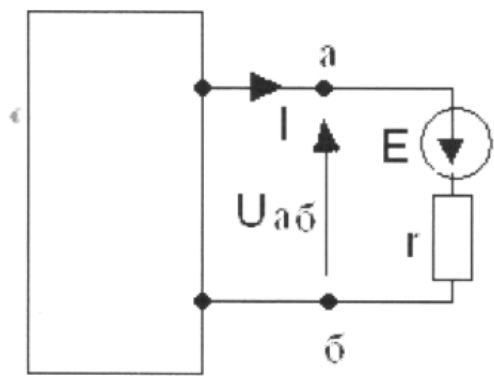
$r = 8$ Ом, $r_2 = 3$ Ом, $r_3 = 6$ Ом, $U = 160$ В = const.

Ответ:

1. $U_{L1}(0) = 96$ В; 2. $U_{L1}(0) = 48$ В; 3. $U_{L1}(0) = 112$ В;
4. $U_{L1}(0) = -64$ В; 5. $U_{L1}(0) = -48$ В.

Вариант №5

Задача №1

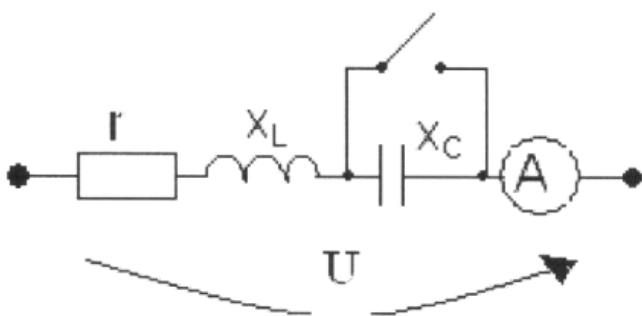


Определить ток в ветви ab, если известна вольтамперная характеристика $U_{ab}=f(I)$ активного двухполюсника, а также $r=10 \text{ Ом}$, $E=50 \text{ В}$.

- Ответ: 1. 5 А; 2. 5/3 А;
3. 6,3 А; 4. 4 А;
5. 13 А.

Задача №2.

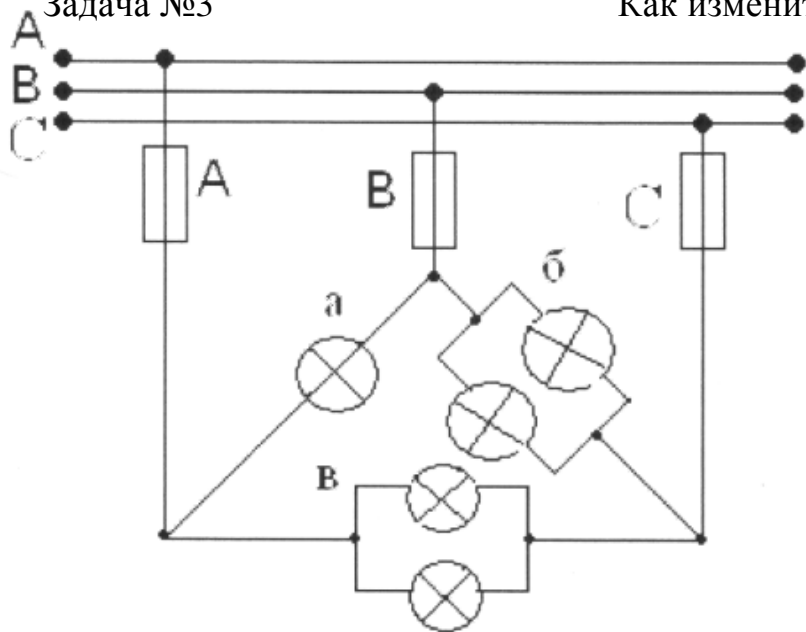
Дано: В цепи синусоидального тока заданы $r=8 \text{ Ом}$, $X_L=6 \text{ Ом}$, $U=U_m \sin \omega t$. Каким должно быть сопротивление цепи X_C , чтобы при замыкании рубильника показание амперметра не изменилось?



1. Условие невыполнимо; 2. $X_C=6 \text{ Ом}$; 3. $X_C=10 \text{ Ом}$;
4. $X_C=12 \text{ Ом}$; 5. $X_C=14 \text{ Ом}$.

Задача №3

Как изменится накал ламп групп а, б, в, если сгорит предохранитель А?

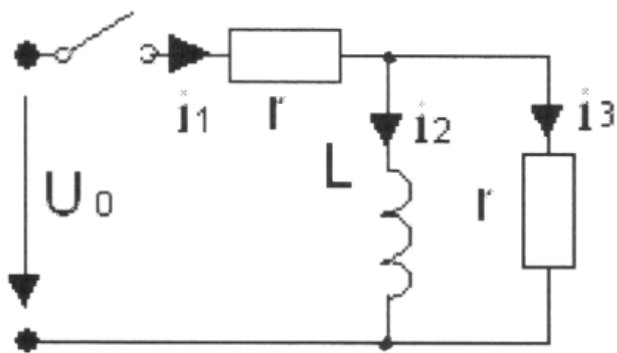


Ответ:

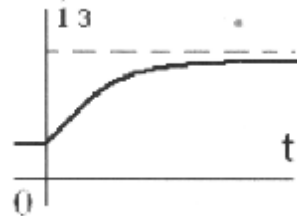
1. Накал всех ламп не изменится.
2. Накал ламп групп а, в увеличится, б- уменьшится
3. Накал групп а, в уменьшится, б - не изменится
4. Накал групп а, в - изменится,

Задача №4

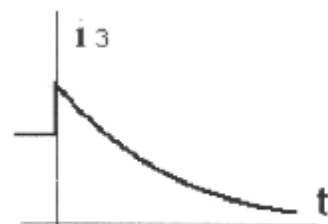
В цепи происходит переходной процесс при замыкании рубильника. Каким будет закон изменения тока i_3 в цепи после замыкания рубильника? б - увеличится.



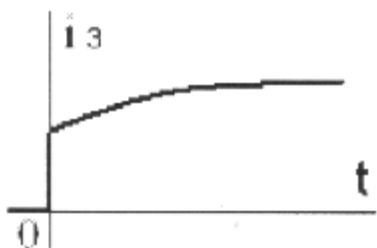
Ответ: 1.



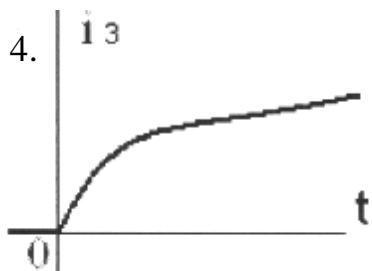
2.



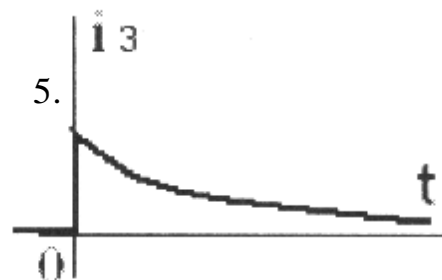
3.



4.

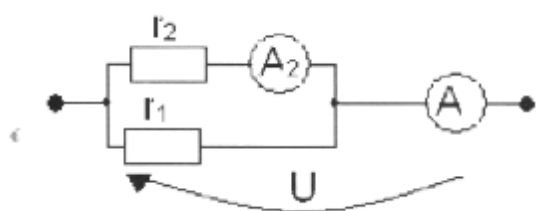


5.



Вариант №6

Задача №1.

Определить сопротивление r_2 , если $I_{A2} = 5$ А, $I_A = 25$ А, $r_1 = 3$ Ом.

Ответ:

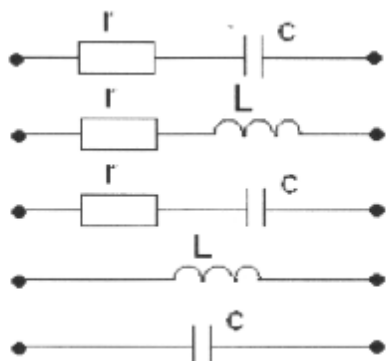
1. 15 Ом; 2. 12 Ом; 3. 20 Ом; 4. 1,12 Ом; 5. 30 Ом.

Задача №2. Изобразить схему замещения приемника, ток и напряжение которого выражаются функциями: $U = U_m \sin(\omega t + 30^\circ)$, $i = I_m \sin(\omega t + 60^\circ)$.

Определить угол сдвига фаз φ напряжения и тока.

Ответ:

1. $\varphi = -30^\circ$;
2. $\varphi = 30^\circ$;
3. $\varphi = -60^\circ$;
4. $\varphi = 90^\circ$;
5. $\varphi = -90^\circ$.



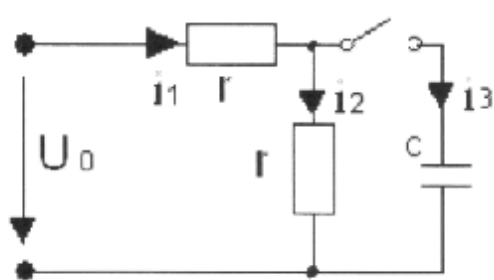
Задача №3. Почему обрыв нейтрального провода в четырехпроводной трехфазной системе является аварийным режимом?

Ответ:

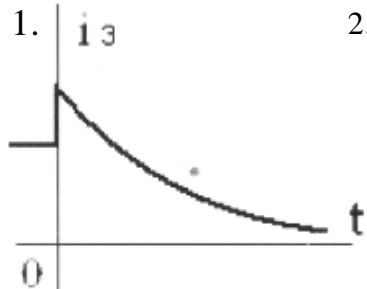
1. Увеличится напряжение на всех фазах потребителя, соединенного треугольником.
2. На одних фазах потребителя, соединенного треугольником, напряжение увеличится, на других уменьшится.
3. На одних фазах потребителя, соединенного звездой, напряжение увеличится, на других уменьшится.
4. На всех фазах потребителя, соединенного звездой, напряжение возрастает.

Задача №4

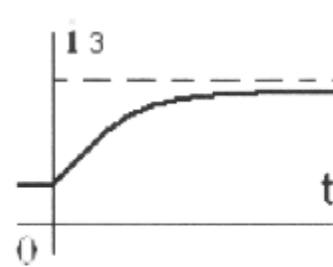
Каким будет закон изменения тока i_3 в цепи после замыкания рубильника?



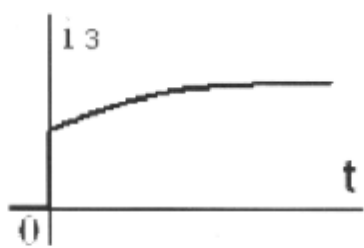
Ответ: 1.



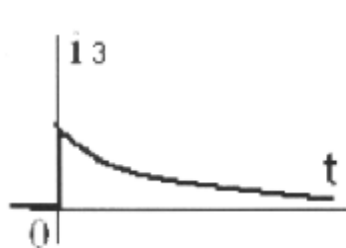
2.



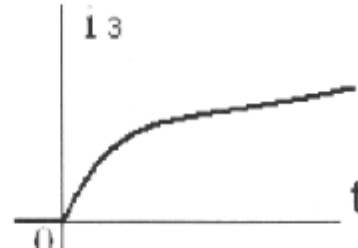
3.



4.

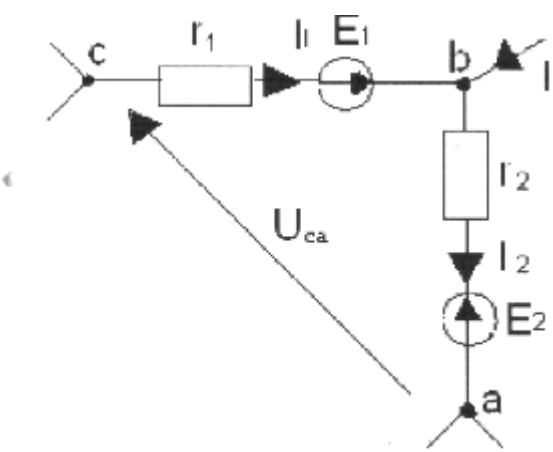


5.



Вариант №7

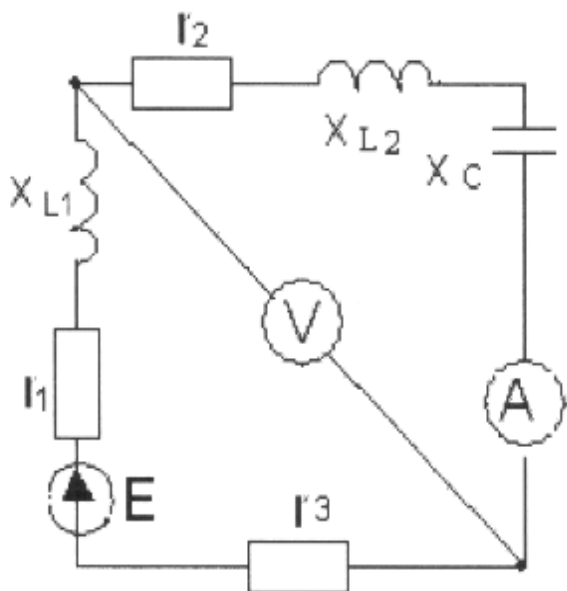
Задача №1



На рисунке показана часть сложной цепи. Составить уравнение по законам Кирхгофа и найти абсолютное значение токов в ветвях, если $E_1 = 100 \text{ В}$; $E_2 = 130 \text{ В}$; $U_{ca} = 70 \text{ В}$; $r_1 = 3 \text{ Ом}$; $r_2 = 5 \text{ Ом}$; $I = 8 \text{ А}$

Ответ:
 1. $I_1 = 17,5 \text{ А}$, $I_2 = 9,5 \text{ А}$; 2. $I_1 = 10 \text{ А}$, $I_2 = 2 \text{ А}$;
 3. $I_1 = 9,5 \text{ А}$, $I_2 = 1,5 \text{ А}$; 4. $I_1 = 0 \text{ А}$, $I_2 = 8 \text{ А}$;
 5. $I_1 = 2 \text{ А}$, $I_2 = 10 \text{ А}$.

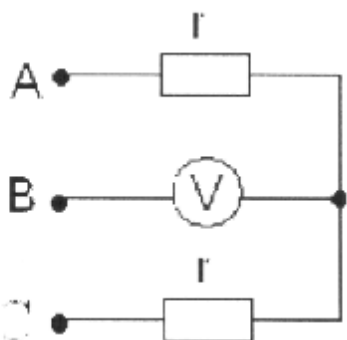
Задача №2



Определить показания приборов электромагнитной системы, если $E = 200 \text{ В}$, $r_1 = 8,66 \text{ Ом}$, $r_2 = 10 \text{ Ом}$, $r_3 = 1,34 \text{ Ом}$, $X_{L1} = 5 \text{ Ом}$, $X_{L2} = 17,32 \text{ Ом}$, $X_C = 7,32 \text{ Ом}$.

Ответ:
 1. $4,02 \text{ А}$, 140 В ; 2. 8 А , 113 В ; 3. $4,02 \text{ А}$, 200 В ;
 4. $4,5,71 \text{ А}$, 114 В ; 5. Другой ответ.

Задача №3.

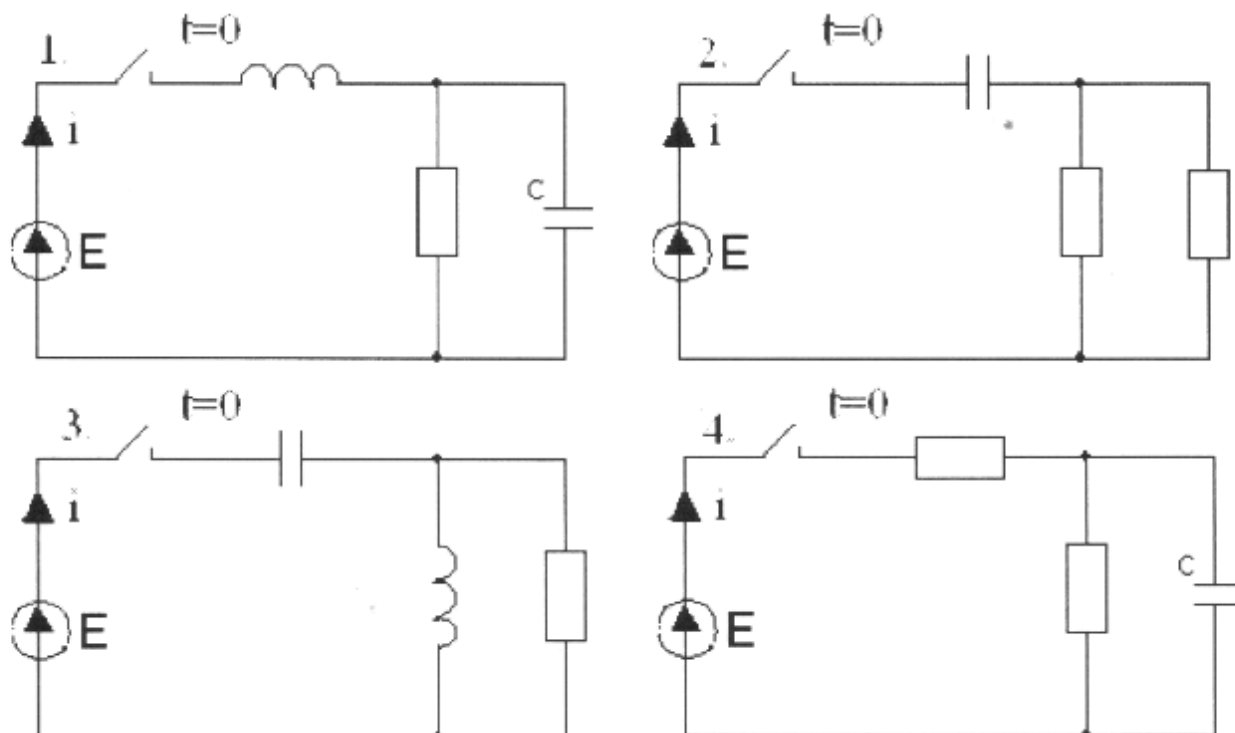


Линейное напряжение в трехфазной цепи 220 В . Определить показание вольтметра ($r_v = \infty$).

Ответ:
 1. 220 В ; 2. 110 В ; 3. 190 В ; 4. 127 В ; 5. 330 В .

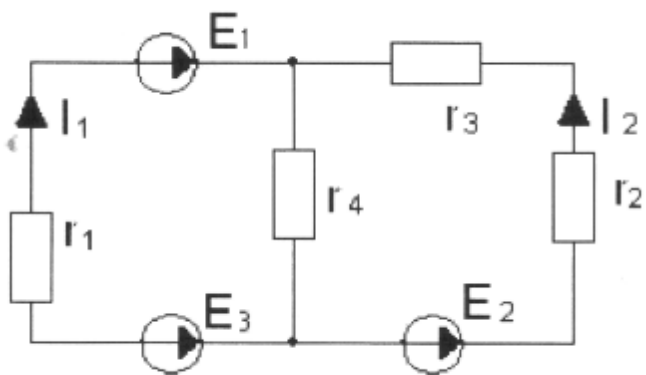
Задача №4. Для которой из указанной ниже цепей переходной ток будет выражаться функцией вида $i = I_{np} + Ae^{-pt}$?

Ответ:



Вариант №8

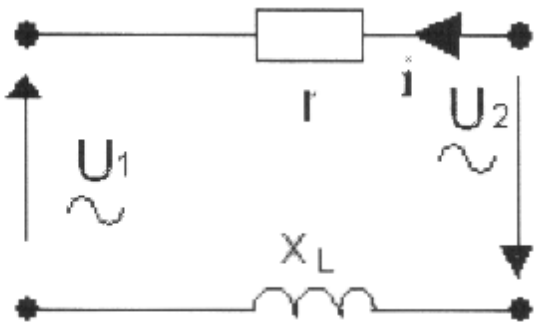
Задача №1



Дано: Мощность, потребляемая сопротивлениями $P=90,5$ Вт;
 $E_1=10$ В; $E_3=8$ В. Токи $I_1=-2$ А; $I_2=3,5$ А. Определить
 ЭДС E_2 цепи.

Ответ: 1. $E_2=10$ В; 2. $E_2=20$ В; 3. $E_2=60$ В;
 4. $E_2=27$ В; 5. $E_2=36$ В.

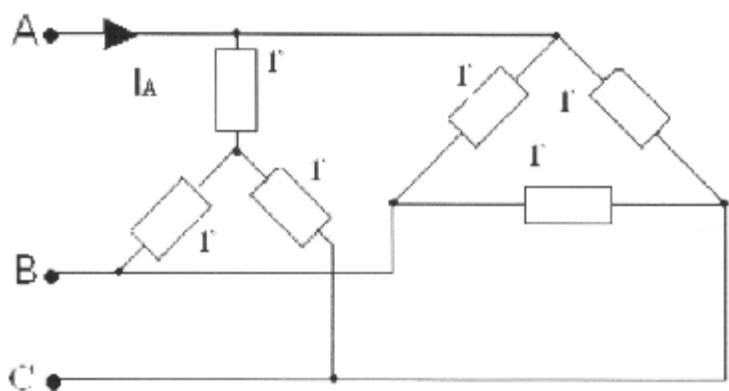
Задача №2



К электрической цепи подведены два напряжения: $U_1=U_{m1}\sin\omega t$,
 $U_2=U_{m2}\sin(\omega t+90^\circ)$. Определить мгновенное значение
 тока i , если $r=|X_L|$, $U_{m1}=U_{m2}=U_m$.

Ответ: 1. $i=U_m/Z \sin(\omega t-90^\circ)$; 2. $i=2U_m/Z \sin(\omega t-90^\circ)$;
 3. $i=U_m/Z \sin(\omega t+90^\circ)$; 4. $i=2U_m/Z \sin(\omega t+90^\circ)$.

Задача №3



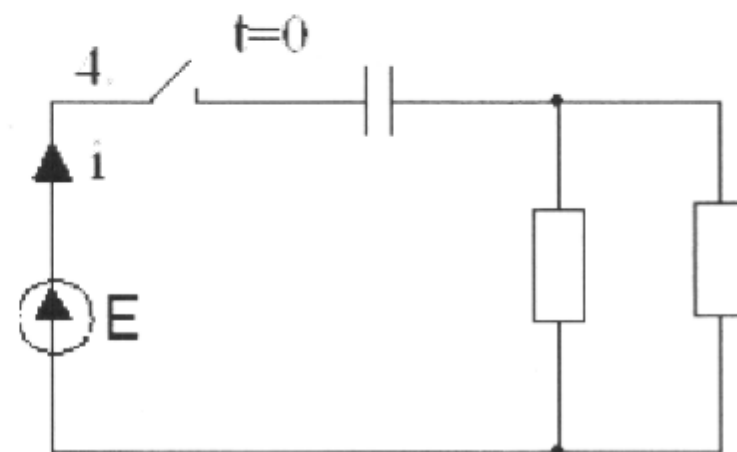
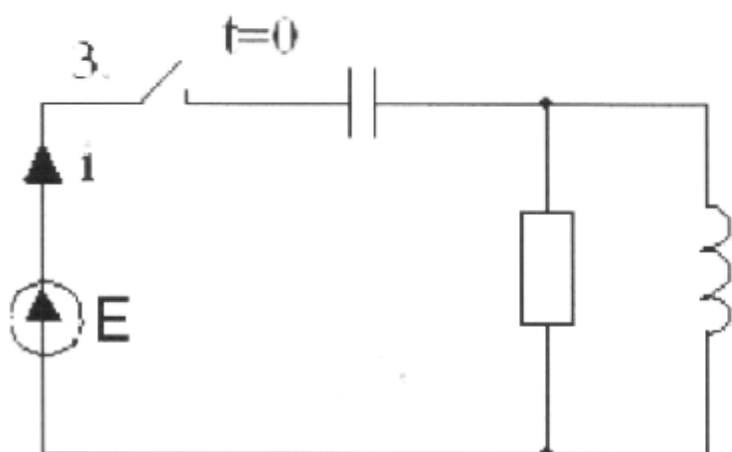
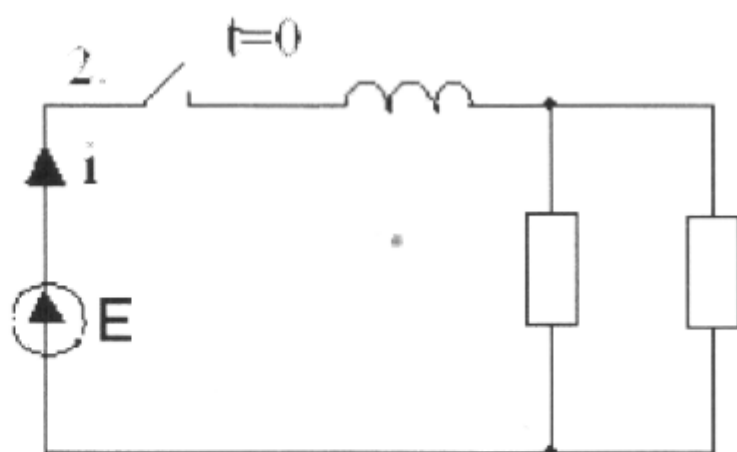
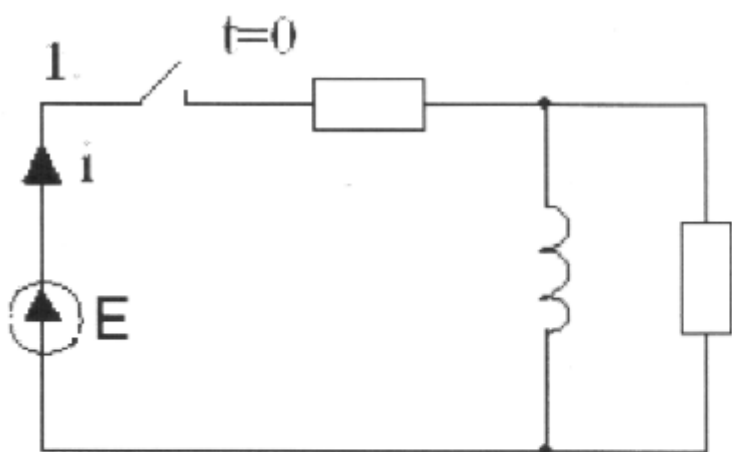
Определить линейный ток I_A , если линейное
 напряжение генератора 220 В.

Ответ:

1. $220 \cdot \sqrt{3} / r$ А;
2. $220 \cdot \sqrt{3} / 2r$ А;
3. $220 \cdot \sqrt{r} + 220 \cdot \sqrt{3} / 2r$ А;
4. $220 \cdot \sqrt{3} / r + 220 \cdot \sqrt{3} / r$ А.

Задача №4. Для которой из указанных ниже цепей переходной ток будет выражаться функцией
 вида $i=A_1e^{-p_1t}+A_2e^{-p_2t}$

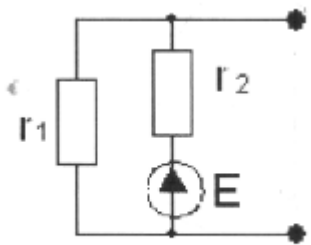
Ответ:



Вариант №9

Задача №1

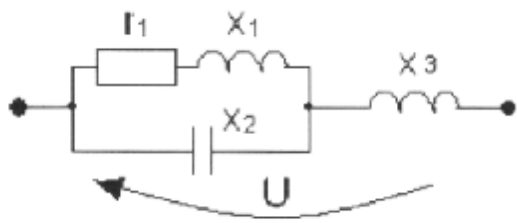
Определить параметры эквивалентного генератора заданной цепи, если $E=45\text{ В}$; $r_1=6\text{ Ом}$; $r_2=9\text{ Ом}$.



Ответ: 1. $E_3=45\text{ В}$, $r_3=9\text{ Ом}$; 2. $E_3=18\text{ В}$, $r_3=3.6\text{ Ом}$;
3. $E_3=72\text{ В}$, $r_3=15\text{ Ом}$; 4. $E_3=72\text{ В}$, $r_3=3.6\text{ Ом}$;
5. $E_3=0\text{ В}$, $r_3=6\text{ Ом}$.

Задача №2.

Определить эквивалентные активное и реактивное сопротивление (r, x) цепи, если $r=|X_1|=|X_2|=|X_3|=5\text{ Ом}$.



Ответ: 1. $r=5\text{ Ом}$, $x=0\text{ Ом}$;
2. $r=5\text{ Ом}$, $x=5\text{ Ом}$;
3. $r=0\text{ Ом}$, $x=-5\text{ Ом}$;
4. $r=5\text{ Ом}$, $x=15\text{ Ом}$;
5. $r=5\text{ Ом}$, $x=-15\text{ Ом}$.

Задача №3. Может ли геометрическая сумма линейных токов трехфазной системы быть отличной от нуля при отсутствии нулевого провода?

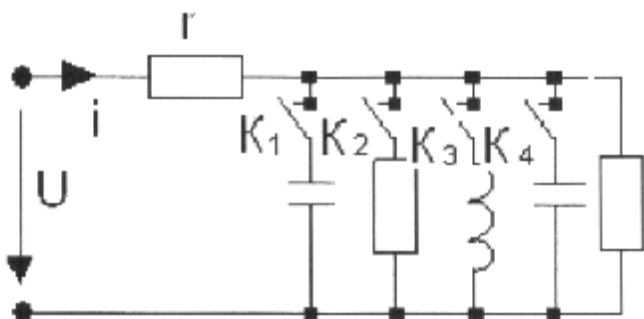
Ответ:

1. Может; 2. Не может; 3. Может, но только в симметричной системе;
4. Может, но только при прямом порядке следования фаз.

Задача №4.

К цепи подведено постоянное напряжение U . Каким из

рубильников осуществить коммутацию, чтобы ток i в ветви источника стал изменяться во времени, т.е. чтобы в этой ветви начался переходной процесс?



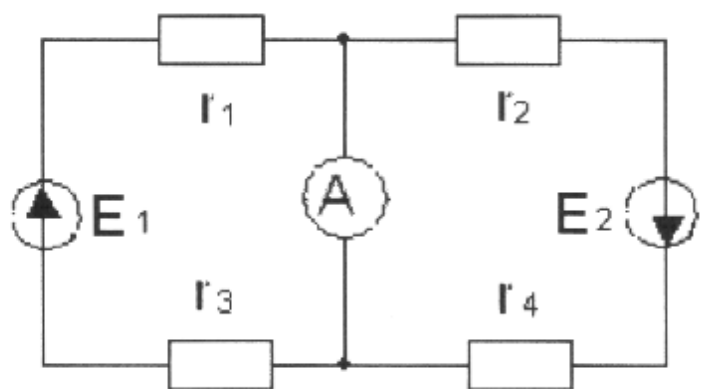
Ответ:

1. Любым рубильником; 2. Рубильником K_1 3. Рубильником K_2 ;
4. Рубильником K_3 ; 5. Рубильником K_4 ;

Вариант №10

Задача №1.

Определить показания амперметра, если $E_1=20$ В; $E_2=60$ В;
 $r_1=6$ Ом; $r_2=8$ Ом; $r_3=4$ Ом; $r_4=12$ Ом; $r_{\text{вн}}$
 амперметра=0 Ом.



Ответ:

1. 2 А; 2. 3 А; 3. 5 А; 4. 1 А; 5. 4 А.

Задача №2. Даны комплексы тока и напряжения приемника $\dot{I}=2e^{-j90^\circ}$ А, $\dot{U}=100e^{-j45^\circ}$ В. Определить активную и реактивную мощности.

Ответ: 1. $P=0$ Вт, $Q=-141$ Вар; 2. $P=200$ Вт, $Q=200$ Вар; 3. $P=141$ Вт, $Q=-141$ Вар;

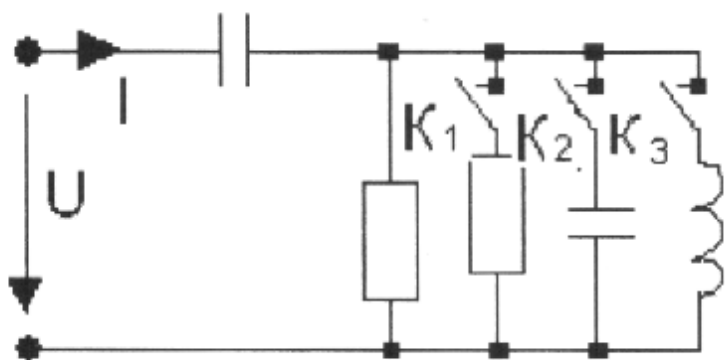
4. $P=-141$ Вт, $Q=-141$ Вар; 5. $P=141$ Вт, $Q=141$ Вар.

Задача №3. Линейный ток равен 17,3 А. Чему равен фазный ток, если симметричная нагрузка соединена треугольником?

Ответ:

1. 10 А; 2. 20 А; 3. 176 А; 4. 17,3 А.

Задача №4



К цепи подведено постоянное напряжение U .
 Каким из рубильников нужно осуществить коммутацию, чтобы выражение переходных токов и напряжений содержали лишь одну постоянную интегрирования?

Ответ:

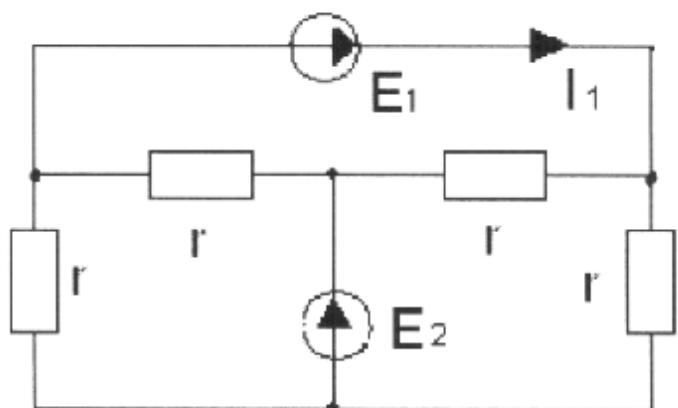
1. Любым рубильником; 2. Рубильником K_3 ;
 3. Рубильником K_2 ; 4. Рубильником K_1
 5. Замыкание любого рубильника не вызовет переходного процесса.

Задача №1

Определить I_1 методом эквивалентного генератора, если

$$E_1=200 \text{ В}; E_2=100 \text{ В}; r=20 \text{ Ом}; \\ r_{вн1}=r_{вн2}=0 \text{ Ом}.$$

Ответ: 1. 5 А; 2. 0,3; 20 А; 4. 15 А; 5. 10 А.



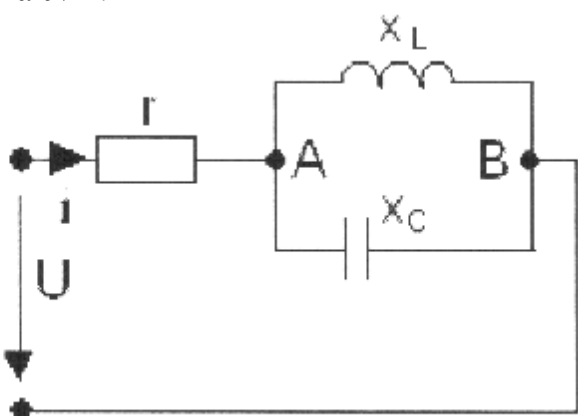
Задача №2.

Определить действующее значение напряжения между

точками А и В, если приложенное напряжение $U = 100 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \omega t \text{ В}$, а $r=|X_L|=|X_C|=10 \text{ Ом}$.

Ответ:

1. 100 В; 2. $100\sqrt{2}$ В; 3. 33,4 В; 4. 50 В; 5. 0 В.



Задача №3. В трехфазной цепи фазное напряжение 220 В, фазный ток 5 А. Коэффициент мощности 0,8. Определить активную мощность трехфазной цепи.

Ответ:

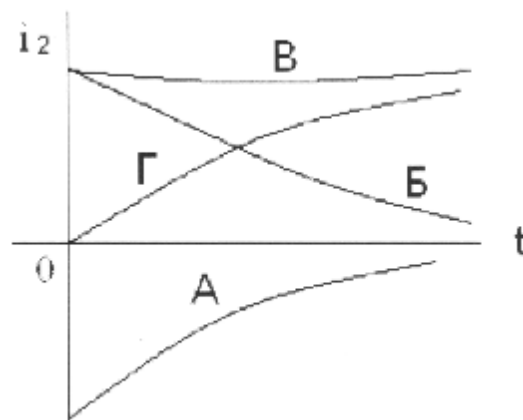
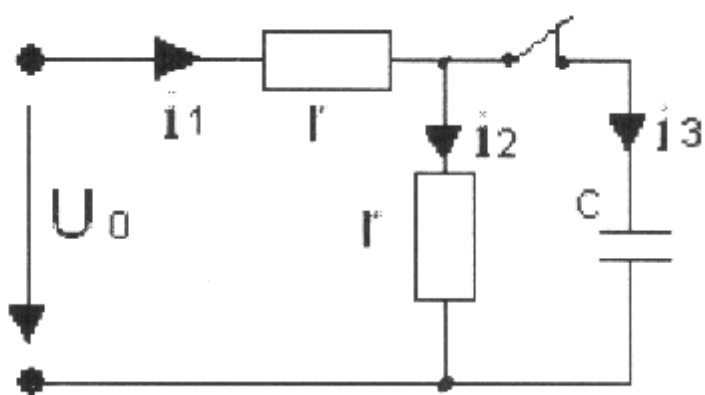
1. 880 Вт; 2. 1100 Вт; 3. 2640 Вт; 4. 1760 Вт.

Задача №4.

В электрической цепи переходной процесс происходит при размыкании ключа. Определить по какому закону будет изменяться ток i_2 если емкость С перед коммутацией была заряжена до напряжения $U_C(0) = U_0$. Указать верную кривую.

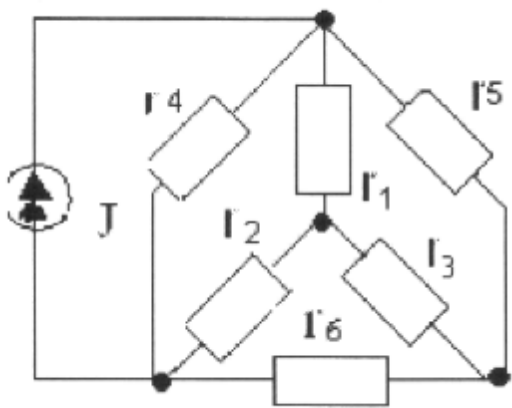
Ответ:

1. А; 2. Б; 3. В; 4. Г.



Вариант №12

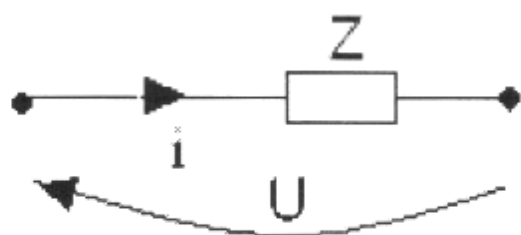
Задача №1.



Найти напряжение на зажимах источника заданного тока $J=60$ А, если $r_1=r_2=r_3=1$ Ом; $r_4=r_5=r_6=3$ Ом;

Ответ: 1. $U=40$ В; 2. $U=80$ В; 3. $U=120$ В; 4. $U=43$ В;
5. $U=60$ В.

Задача №2

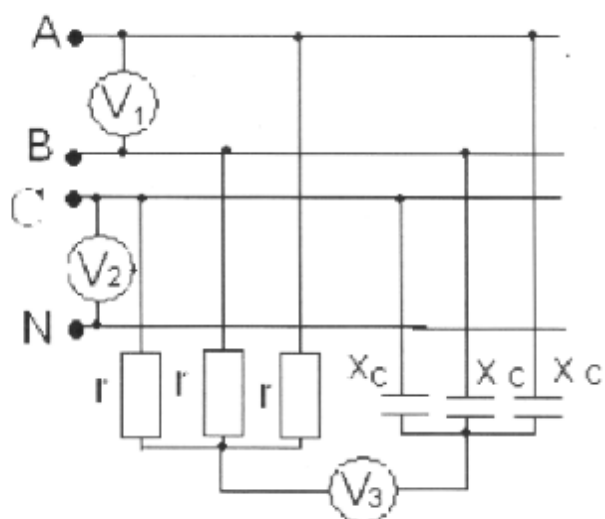


Известны ток $i = 14,1 \sin(\omega t + 30^\circ)$ А и напряжение $U = 14,1 \sin(\omega t - 60^\circ)$ В двухполюсника. Определить активную P и реактивную Q мощности.

Ответ:

1. $P=1730$ Вт, $Q=1000$ Вар; 2. $P=865$ Вт, $Q=500$ Вар;
3. $P=0$ Вт, $Q=1000$ Вар; 4. $P=0$ Вт, $Q=-1000$ Вар;
5. $P=3460$ Вт, $Q=-2000$ Вар.

Задача №3.



Линейное напряжение в трехфазной цепи $U_{\text{л}}=380$ В.

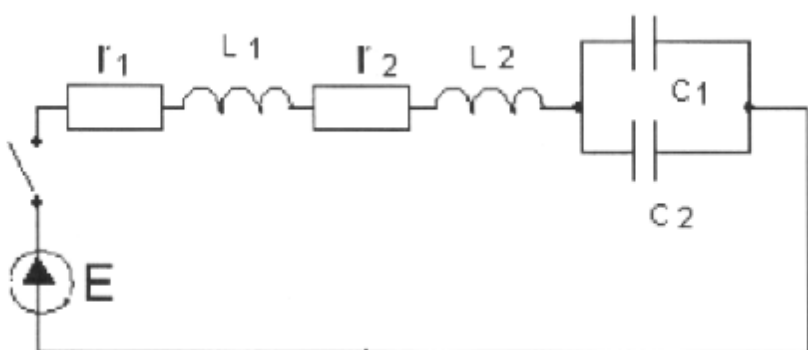
Определить показания вольтметров

U_{V1} , U_{V2} , U_{V3} ($r_V=\infty$).

Ответ:

1. $U_{V1}=380$, $U_{V2}=380$, $U_{V3}=0$;
2. $U_{V1}=380$, $U_{V2}=220$, $U_{V3}=0$;
3. $U_{V1}=220$, $U_{V2}=127$, $U_{V3}=127$;
4. $U_{V1}=220$, $U_{V2}=127$, $U_{V3}=0$.

Задача №4

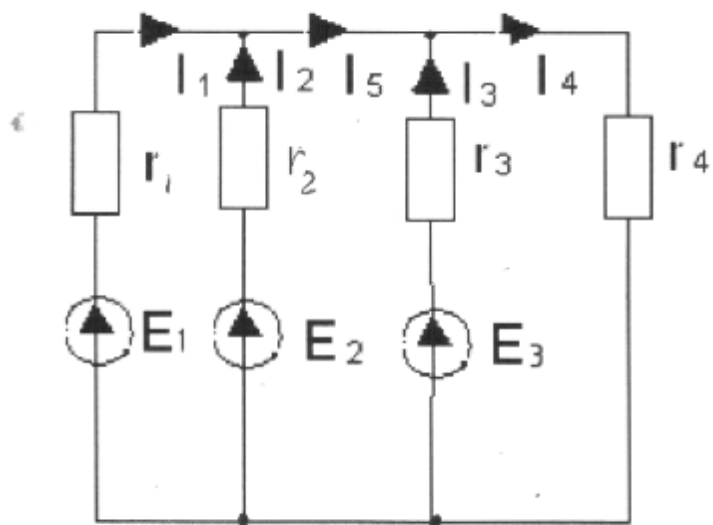


Определить порядок дифференциального уравнения (степень характеристического уравнения), описывающего свободный процесс в электрической цепи при переходном процессе, который возникает при замыкании ключа.

Ответ: 1. 4; 2. 2; 3. 3; 4. 1.

Вариант №13

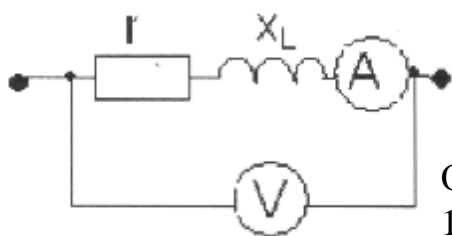
Задача №1

Определить токи в цепи, если $E_1=E_2=E_3=40$ В; $r_1=r_2=r_3=r_4=2$ Ом.

Ответ:

1. $I_1=I_2=I_3=I_4=I_5=0$ А
2. $I_1=I_2=5$ А, $I_3=2.5$ А, $I_4=12.5$ А
3. $I_1=I_2=I_3=5$ А, $I_4=15$ А, $I_5=10$ А
4. $I_1=I_2=5$ А, $I_3=10$ А, $I_4=20$ А, $I_5=10$ А

Задача №2.



Как изменятся показания амперметра в цепи, если вместо переменного тока через цепь пропустить постоянный ток при неизменном показании вольтметра? Известно, что $r=|X_L|$ (при переменном токе) и оба прибора электромагнитной системы.

Ответ:

1. Не изменится
2. Увеличится в $\sqrt{2}$ раз;
3. Уменьшится в $\sqrt{2}$ раз;
4. Увеличится в 2 раза;
5. Уменьшится в 2 раза.

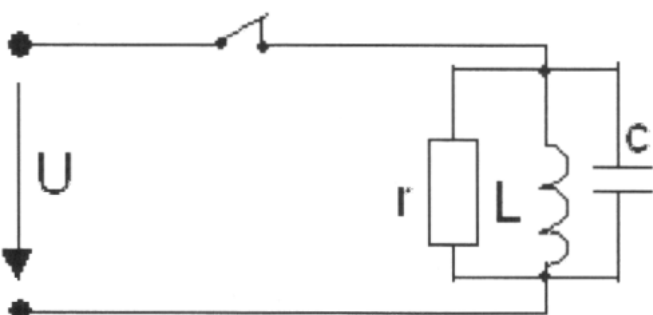
Задача №3. В трехфазной цепи комплексное линейное напряжение $\dot{U}_{AB} = 380e^{-j90^\circ}$ В. Определить комплексное фазное напряжение генератора \dot{U}_B .

Ответ:

1. $220e^{j20^\circ}$ В;
2. $380/\sqrt{3}e^{-j80^\circ}$ В;
3. $220e^{-j100^\circ}$ В;
4. $220e^{j140^\circ}$ В.

Задача №4.

Определить $U_c(0)$, если $U=10\sin 5000t$; $r=100$ Ом; $L=40$ мГн; $C=1$ мкФ. Ключ размыкается, когда фаза приложенного напряжения равна 30° .

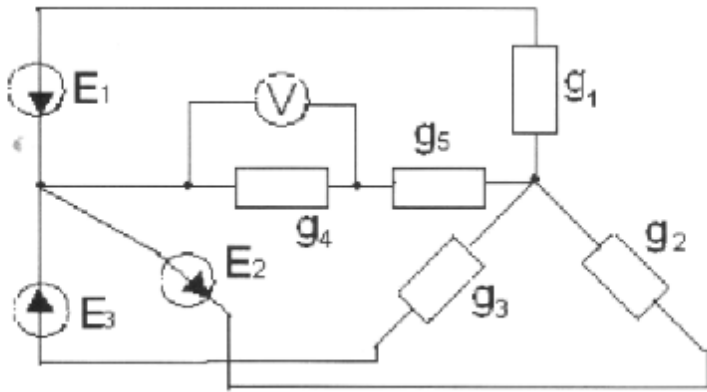


Ответ :

1. 10 В;
2. 5 В;
3. 0 В;
4. $10\sin(\omega t+30^\circ)$ В.

Вариант №14

Задача №1



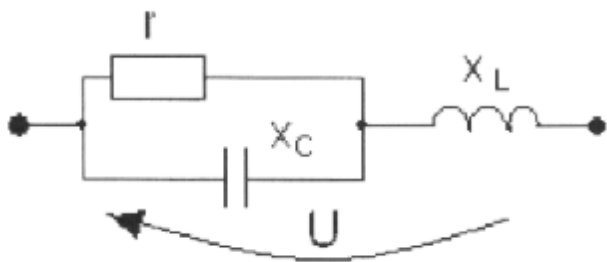
Определить показания вольтметра, если $E_1=E_3=50$; $E_2=100$ В;
 $g_1=g_2=g_3=g_4=g_5=0,2$ Ом.

Ответ:

1. $U=0$; 2. $U=100$ В; 3. $U=50$ В;
4. $U=75$ В; 5. $U=175$ В.

Задача №2.

При каком значении X_C в цепи наступит резонанс, если $r=10$ Ом, $X_L=5$ Ом.

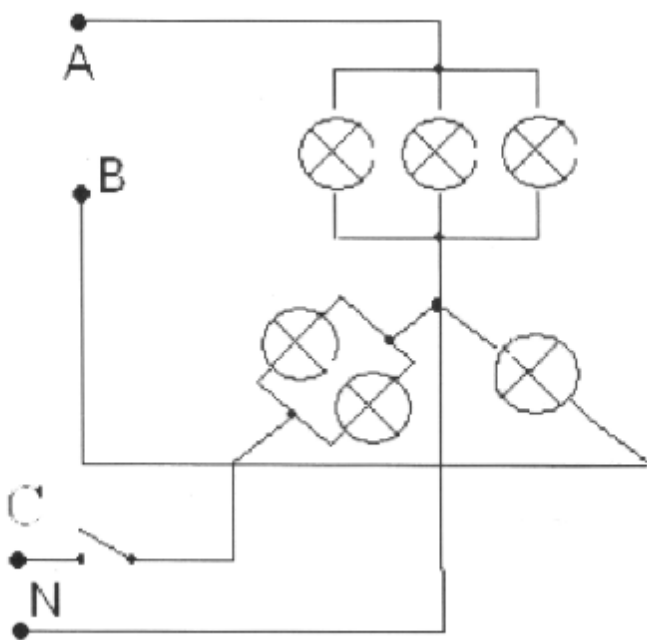


Ответ:

1. $X_C=10$ Ом; 2. $X_C=|X_L|=5$ Ом; 3. $X_C=0$;
4. $X_C=15$ Ом; 5. При любом значении X_C резонанс напряжения в цепи невозможен.

Задача №3.

Каждая фаза потребителя содержит лампы накаливания, имеющие одинаковые номинальные мощности и напряжения. Определить напряжения U_A и U_B , когда отключен выключатель и оборван нейтральный провод, если $U_n=380$ В. Считать, что сопротивления ламп не зависят от тока.



Ответ: 1. $U_A=U_B=190$ В;

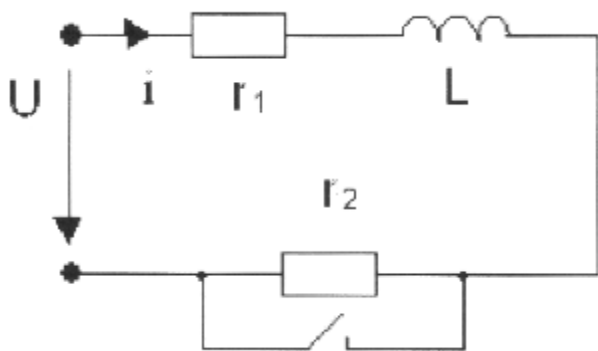
2. $U_A=285$ В, $U_B=95$ В;

3. $U_A=U_B=220$ В;

4. $U_A=95$ В, $U_B=285$ В.

Задача №4.

В электрической цепи происходит переходной режим при замыкании ключа. Определить переходной ток $i(t)$ в цепи, если $U=120$ В=const; $r_1=10$ Ом; $r_2=30$ Ом; $L=0,1$ Гн.



Ответ:

1. $i(t)=(12+9e^{-100t})$ А; 2. $i(t)=(12-9e^{100t})$ А;

3. $i(t)=(12+9e^{100t})$ А; 4. $i(t)=(9-12e^{-100t})$ А;

5. $i(t)=(12-9e^{-100t})$ А.

8. Тесты по физике
для входного контроля знаний
по дисциплине «Электротехника и электроника»

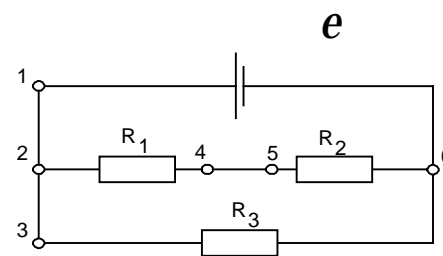
Вариант 1

1. Из предложенных вариантов выберите выражение, определяющее энергию заряженного конденсатора.

1. $\frac{CU^2}{5^2}$ 2. $Q(j_1 - j_2)$ 3. ee_0E 4. $\frac{ee_0S}{d}$ 5. $\frac{S}{2e_0}(r_1 - r_2)$

2. Между какими точками следует подключить амперметр, если необходимо измерить ток в сопротивлении R_1 ?

1. 1-2 2. 2-3 3. 2-4 4. 4-5 5. 5-6



3. В однородном магнитном поле находится прямоугольная рамка площадью $0,2 \text{ м}^2$. Чему равен магнитный поток через контур рамки, если индукция поля равна $0,1 \text{ Тл}$? Плоскость рамки перпендикулярна вектору магнитной индукции.

1. 20 мВб 2. 2 Вб 3. $0,5 \text{ Вб}$ 4. $4,5 \text{ мВб}$ 5. 0 Вб

4. Какое поле называется однородным?

5. Установите соответствие между физическими величинами и их обозначениями.

Обозначения	Физические величины
1. L	А. Магнитная индукция
2. B	Б. Магнитная проницаемость среды
3. Ф	В. Потокосцепление
4. H	Г. Индуктивность
5. ψ	Д. Магнитный поток
6. μ	Е. Напряженность магнитного поля

Вариант 2

1. Как называется физическая величина, определяемая электрическим зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени?

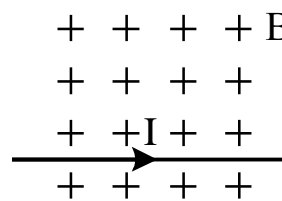
1. Напряжение 2. Сопротивление 3. Проводимость 4. ЭДС 5. Сила тока

2. В паспорте электрического утюга указано: « 220 В , 1 кВт ». Сколько тепла выделяется нагревательным элементом утюга в 1 мин ?

1. 1 кДж 2. 22 кДж 3. 660 кДж 4. 100 кДж 5. 60 кДж

3. Какое направление имеет сила Ампера, действующая на проводник с током, помещенный в магнитное поле как показано на рисунке?

1. Вверх 2. Влево 3. Вправо 4. Вниз 5. Вдоль линий магнитной индукции



4. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.

5. Установите соответствие между физическими величинами и их единицами измерения.

Физические величины	Единицы измерения
1. Напряженность магнитного поля	А. Вб
2. Магнитная индукция	Б. А/м
3. Индуктивность	В. Тл
4. Магнитный поток	Г. Н
5. ЭДС индукции	Д. В
6. Сила Ампера	Е. Гн

Вариант 3

1. Определить емкость конденсатора, имеющего заряд $8 \cdot 10^{-4}$ Кл при разности потенциалов между пластинами 2 кВ.

1. 4 мкФ 2. 25 мкФ 3. 0,16 мкФ 4. 0,4 мкФ 5. 25 мкФ

2. Как связаны напряжения на проводниках, соединенных параллельно, с напряжением, приложенным ко всей цепи?

1. $\frac{1}{U} = \frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \dots + \frac{1}{U_n}$ 3. $U = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{U_1 \cdot U_2 \cdot \dots \cdot U_n}$ 5. $U = \frac{U_1 \cdot U_2 \cdot \dots \cdot U_n}{U_1 + U_2 + \dots + U_n}$

2. $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ 4. $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$

3. Из предложенных вариантов выберите выражение, определяющее закон полного тока для магнитного поля в вакууме.

1. $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$ 2. $\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$ 3. $\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k$ 4. $\Phi_B = \int_S \vec{B} d\vec{S}$ 5. $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$

4. При каком условии в замкнутом поводящем контуре возникает ЭДС индукции?

5. Установите соответствие между физическими величинами и их единицами измерения.

Физические величины	Единицы измерения
1. Мощность	А. Кл
2. Емкость	Б. Ом
3. Напряжение	В. Вт
4. Заряд	Г. А
5. Сила тока	Д. В
6. Сопротивление	Е. Ф

Вариант 4

1. К каким точкам следует подключить вольтметр, если необходимо измерить напряжение на резисторе сопротивлением R_3 ?

1. 1-2 2. 2-4 3. 4-5 4. 3-6 5. 5-6

2. Какое расположение и форму имеют линии магнитной индукции поля создаваемого прямолинейным проводником с током?

1. Замкнутые окружности, охватывающие проводник.
2. Замкнутые кривые, пересекающие проводник.
3. Радиальные прямые, уходящие в бесконечность.

4. Прямые, перпендикулярные проводнику.
5. Прямые, параллельные проводнику.

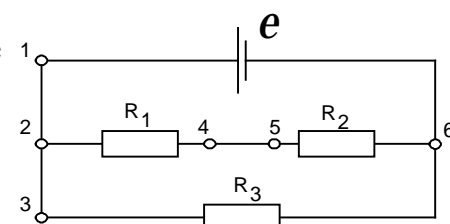
3. При замыкании цепи сила тока, текущего через катушку индуктивностью 8 Гн, возрастает до 4 А за 0,8 с. Определить ЭДС самоиндукции.

1. 0,4 В 2. 1,6 В 3. 16 В 4. 40 В 5. 20 В

4. Каково назначение конденсатора?

5. Установите соответствие между физическими величинами и их обозначениями.

Обозначения	Физические величины
1. R	А. Мощность
2. W	Б. Энергия
3. C	В. Сопротивление
4. U	Г. Потенциал
5. P	Д. Напряжение
6. φ	Е. Емкость



Вариант 5

1. Напряжение на обкладках конденсатора было 200 В. При полной разрядке конденсатора, через резистор в цепи прошел электрический заряд 5 мКл. Какова емкость конденсатора?
1. 4 мкФ 2. 25 мкФ 3. 0,2 мкФ 4. 10 мкФ 5. 40 мкФ
2. Какие частицы являются носителями тока в полупроводниках?
1. Электроны и ионы 3. Электроны и дырки 5. Только электроны
2. Электроны и протоны 4. Только ионы
3. Какая величина определяется скоростью изменения магнитного потока через контур?
1. Магнитный момент 3. Магнитная проницаемость 5. Сила Ампера
2. Взаимоиндукция 4. Э.д.с. индукции
4. Какие условия необходимы для возникновения и существования электрического тока?
5. Установите соответствие между физическими величинами и их единицами измерения.

Физические величины	Единицы измерения
1. Мощность	А. Гн
2. Проводимость	Б. Вб
3. Напряжение	В. Вт
4. Индуктивность	Г. А
5. Сила тока	Д. В
6. Магнитный поток	Е. Ом

Вариант 6

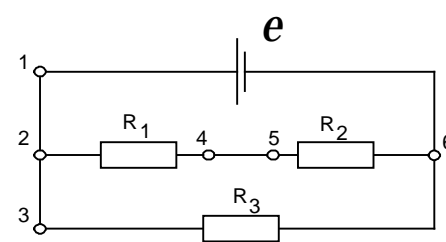
1. Как определяется общее сопротивление цепи при последовательном соединении проводников?
1. $\frac{1}{R_{общ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ 3. $R_{общ} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_n}$ 5. $R_{общ} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n}$
2. $R_{общ} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ 4. $R_{общ} = R_1 = R_2 = \dots = R_n$
2. Какая физическая величина определяется работой совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда?
1. Напряжение. 2. Сила тока. 3. Сопротивление. 4. Проводимость 5. ЭДС.
3. По катушке индуктивностью 5 Гн проходит ток 4 А. Определить магнитный поток, пронизывающий площадь ее поперечного сечения, если обмотка состоит из 500 витков.
1. 400 Вб 2. 0,04 Вб 3. 0,16 Вб 4. 16 мкВб 5. 1000 Вб
4. Назовите основные отличия между полупроводниками с электронной проводимостью и металлами.
5. Установите соответствие между физическими величинами и единицами измерения

Физические величины	Единицы измерения
1. Напряженность магнитного поля	А. Кл
2. Магнитная индукция	Б. А/м
3. Сопротивление	В. Тл
4. Емкость	Г. Ом
5. ЭДС	Д. В
6. Заряд	Е. Ф

Вариант 7

1. К каким точкам следует подключить вольтметр, если необходимо измерить напряжение на резисторе сопротивлением R_2 ?

1. 1-2 2. 2-4 3. 4-5 4. 2-3 5. 5-6



2. Как определяется направление линий магнитной индукции поля проводника с током?

1. По правилу правого винта. 3. По правилу левого винта. 5. По правилу Ленца.
2. По правилу левой руки. 4. По первому правилу Кирхгофа.

3. В паспорте конденсатора указано «150 мкФ; 200 В». Какой наибольший допустимый электрический заряд можно сообщить данному конденсатору?

1. 0,01 Кл 2. 60 Кл 3. 0,75 Кл 4. 0,03 Кл 5. 300 Кл

4. Какие частицы являются носителями тока в металлах?

1. Электроны и ионы. 3. Только электроны. 5. Электроны и дырки.
2. Электроны и протоны. 4. Только ионы.

5. При каком условии в замкнутом проводящем контуре возникает ЭДС индукции?

6. Установите соответствие между физическими величинами и их обозначениями.

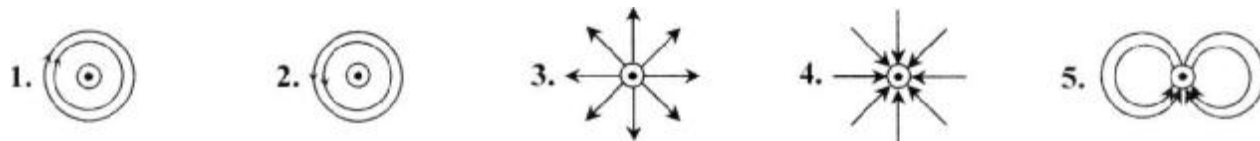
Обозначения	Физические величины
1. Н	А. Энергия
2. μ	Б. Потокосцепление
3. L	В. Сила тока
4. ψ	Г. Индуктивность
5. I	Д. Магнитная проницаемость среды
6. W	Е. Напряженность магнитного поля

Вариант 8

1. Напряжение на обкладках конденсатора было 100 В. При полной разрядке конденсатора через резистор в цепи прошел электрический заряд 2 мКл. Какое количество энергии выделилось на резисторе?

1. 0,4 Дж 2. 200 Дж 3. 0,2 Дж 4. 10 Дж 5. 4 Дж

2. Какое расположение и направление имеют линии магнитной индукции прямолинейного проводника с током, сечение которого перпендикулярно плоскости рисунка?



3. В проводящем контуре при изменении в нем силы тока возникает ЭДС индукции. Как называется это явление?

1. Электростатическая индукция 3. Самоиндукция, 5. Электромагнитная индукция
2. Магнитная индукция 4. Индуктивность

4. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.

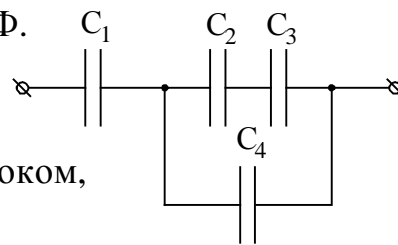
5. Установите соответствие между физическими величинами и их единицами измерения.

Физические величины	Единицы измерения
1. Мощность	А. Гн
2. Проводимость	Б. Ом
3. Индуктивность	В. Вт
4. Емкость	Г. А
5. Сила тока	Д. Ф
6. Сопротивление	Е. См

Вариант 9

1. Определите общую ёмкость участка цепи, если $C_1=1$ мкФ, $C_2=2$ мкФ, $C_3=2$ мкФ, $C_4=3$ мкФ.

1. 1 мкФ 2. 0,5 мкФ 3. 0,8 мкФ 4. 10 мкФ 5. 4 мкФ



2. В какой зависимости находятся силы токов в проводниках, соединенных параллельно с током, текущим в неразветвленной части цепи?

1. $\frac{1}{I} = \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2} + \dots + \frac{1}{I_n}$

2. $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$

3. $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$

4. $I = \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot \dots \cdot I_n}{I_1 + I_2 + \dots + I_n}$

5. $I = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{I_1 \cdot I_2 \cdot \dots \cdot I_n}$

3. Физическая величина, определяемая произведением проекции вектора магнитной индукции на направление нормали к поверхности на её площадь, называется ...

1. индуктивность

3. магнитная проницаемость

5. магнитный момент

2. магнитный поток

4. ЭДС индукции

4. При каких условиях возникает магнитное поле?

5. Установите соответствие между физическими величинами и их обозначениями.

Обозначения	Физические величины
1. Φ	А. Магнитная индукция
2. μ	Б. Потокосцепление
3. L	В. Магнитный поток
4. ψ	Г. Индуктивность
5. H	Д. Магнитная проницаемость среды
6. B	Е. Напряженность магнитного поля

Вариант 10

1. Определить общее сопротивление участка цепи, если $R_1=0,5$ Ом, $R_2=1,5$ Ом, $R_3=3$ Ом

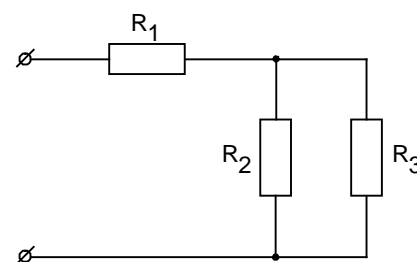
1.5 Ом

3. 1,5 Ом

5. 1 Ом

2. 2,8 Ом

4. 1,2 Ом



2. Как называется физическая величина, определяющая свойства проводника накапливать электрический заряд?

1. Напряженность

3. Диэлектрическая проницаемость

5. Потенциал

2. Емкость

4. Линейная плотность заряда

3. Из предложенных вариантов выберите выражение, определяющее энергию магнитного поля.

1. $\frac{\mu_0 I}{2R}$

2. $\frac{LI^2}{2}$

3. $\mu_0 H$

4. $\int_s \vec{B} d\vec{S}$

5. LI

4. Сформулируйте закон электромагнитной индукции Фарадея.

5. Установите соответствие между физическими величинами и их обозначениями.

Обозначения	Физические величины
1. I	А. Мощность
2. W	Б. Энергия
3. C	В. Сила тока
4. U	Г. Потенциал
5. P	Д. Напряжение
6. ϕ	Е. Емкость