

Методы расчета электрических цепей

Цепи постоянного и однофазного переменного тока

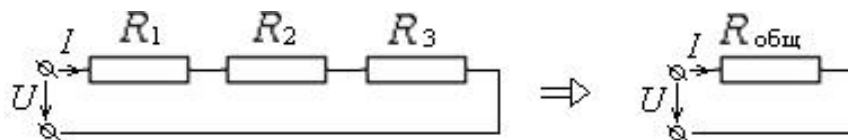
Рассматриваемые методы расчета применимы как для цепей постоянного, так и переменного тока. Расчет цепей переменного синусоидального тока выполняется с использованием символического метода.

Метод преобразования цепи.

Метод применяется в основном для расчета цепей с одним источником. Участки цепи заменяются более простыми по структуре, что упрощает расчет цепи. Различают 5 способов соединения элементов схемы замещения.

1. Последовательное соединение.

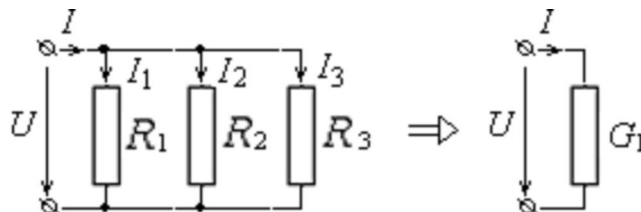
При последовательном соединении по всем элементам цепи протекает один и тем же ток. Общее сопротивление равно сумме сопротивлений элементов.



$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_3; \quad I = \frac{U}{R_{\text{общ}}}$$

2. Параллельное соединение.

При параллельном соединении все элементы цепи находятся под одним и тем же напряжением. Общая проводимость равна сумме проводимостей элементов.



$$G_{\text{общ}} = G_1 + G_2 + G_3; \quad G = \frac{1}{R}; \quad I = U G_{\text{общ}}$$

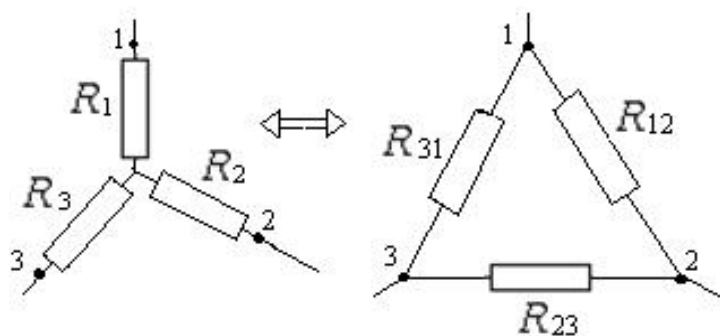
3. Смешанное соединение.

При смешанном соединении в цепи есть участки разных соединений.

4. Соединение в звезду.

5. Соединение в треугольник.

Эти виды соединений являются особым видом соединений. При расчете цепей часто бывает необходимо преобразовывать соединение «звезда» в соединение «треугольник» и обратно. При этом необходимо пересчитать параметры элементов.



Преобразование $Y \rightarrow \Delta$

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}; \quad R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}; \quad R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}.$$

Преобразование $\Delta \rightarrow Y$

$$R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_2 = \frac{R_{12} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_3 = \frac{R_{31} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}.$$

Метод непосредственного применения 1 и 2 законов Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа – «Алгебраическая сумма токов, проходящих через узел равна нулю». $\sum I_k = 0$

Второй закон Кирхгофа – «В замкнутом контуре алгебраическая сумма падений напряжений на сопротивлениях равна алгебраической сумме ЭДС того же контура». $\sum U_k = \sum E_k$.

Узел – точка, где сходятся 3 и более ветвей.

Ветвь – участок цепи, обтекаемый одним и тем же током.

Контур – замкнутая конфигурация цепи, проходящая через несколько узлов и ветвей.

Алгоритм решения задач этим методом.

1. Определить общее число уравнений.

Оно равно числу ветвей. $m = v$.

2. Определить число уравнений по первому закону Кирхгофа.

Оно равно числу узлов минус 1. $m_1 = y - 1$

3. Определить число уравнений по второму закону Кирхгофа. $m_2 = m - m_1$

4. Указать произвольно направления токов в ветвях.

5. Составить уравнения по первому закону Кирхгофа.

6. Указать произвольно направления обхода независимых контуров.

Независимым называется контур, в котором хотя бы одна ветвь не входит в другие контуры.

7. Составить уравнения по второму закону Кирхгофа.

8. Решить систему уравнений.

9. Скорректировать направления токов в ветвях. Если ток получился со знаком минус, изменить его направление на противоположное.

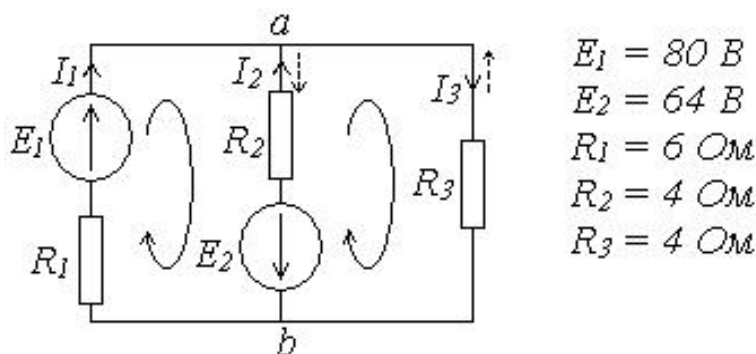
10. Проверить результат по уравнению баланса мощностей.

Сумма мощностей всех источников, работающих в режиме генерирования, равна сумме мощностей всех потребителей энергии.

Если ЭДС источника и ток через него совпадают по направлению – источник работает в режиме генерирования.

Если они противоположны по направлению - источник работает в режиме потребления.

Задача.



Определить токи в ветвях методом непосредственного применения законов Кирхгофа

1. Общее число уравнений $m = 3$.

2. Число уравнений по 1-му закону Кирхгофа $m_1 = 2 - 1 = 1$.

3. Число уравнений по 2-му закону Кирхгофа $m_2 = 3 - 1 = 2$.

4. Указываем направления токов в ветвях (сплошными стрелками).

5. Составляем уравнение по 1-му закону Кирхгофа.

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

6. Указываем направления обхода контуров.

7. Составляем уравнения по 2-му закону Кирхгофа.

$$R_1 I_1 - R_2 I_2 = E_1 + E_2$$

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 = -E_2$$

8. Решаем систему уравнений.

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$6 I_1 - 4 I_2 = 144$$

$$4 I_2 + 4 I_3 = -64$$

Результат: $I_1 = 14 \text{ A}$; $I_2 = -15 \text{ A}$; $I_3 = -1 \text{ A}$.

9. Корректируем направления токов I_2 и I_3 (стрелки пунктирной линией).

10. Проверка

Оба источника работают в режиме генерирования.

$$\Sigma P_{\text{ист}} = \Sigma P_{\text{потр}}$$

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2$$

$$2080 = 2080$$

Получили тождество, следовательно, решение верно.

Недостаток метода – при большом количестве ветвей, большое число уравнений.

Метод контурных токов

Предполагается, что все независимые контуры обтекаются контурными токами.

Задача сводится к определению контурных токов и последующим определением токов в ветвях.

Алгоритм решения задач методом контурных токов

1. Выбрать независимые контуры.
2. Указать (по часовой стрелке) направления контурных токов.
3. Составить систему канонических уравнений.

$$R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} + R_{13}I_{33} = E_{11}$$

$$R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} + R_{23}I_{33} = E_{22}$$

$$R_{31}I_{11} + R_{32}I_{22} + R_{33}I_{33} = E_{33}$$

4. Определить собственные сопротивления контуров (R_{11} , R_{22} , R_{33}).

Они равны арифметической сумме всех сопротивлений, входящих в контур.

5. Определить общие сопротивления смежных контуров ($R_{12} = R_{21}$, $R_{13} = R_{31}$, $R_{32} = R_{23}$). Они равны сопротивлениям ветвей на границе контуров со знаком минус. Если контуры не граничат, то эти сопротивления равны 0.

6. Определить собственные ЭДС контуров (E_{11} , E_{22} , E_{33}). Они равны алгебраической сумме ЭДС, входящих в контур. Если ЭДС направлена против контурного тока, она берется со знаком минус.

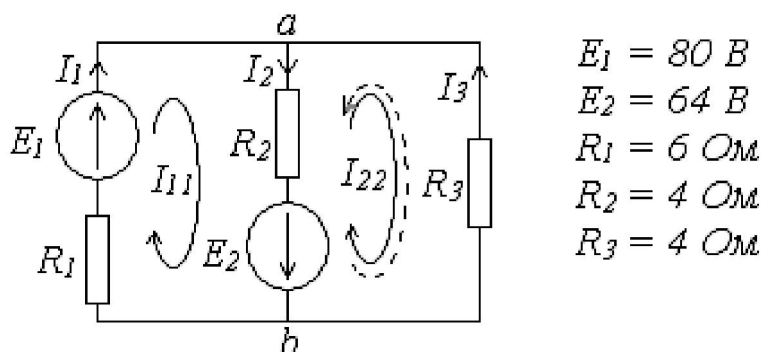
7. Решить систему уравнений.

8. Если контурный ток получился со знаком минус, изменить его направление на противоположное.

9. Определить токи в ветвях.

10. Проверить результат по уравнению баланса мощностей.

Задача.



Определить токи в ветвях методом контурных токов.

1. Выбираем 2 контура.
2. Указываем направления контурных токов (сплошными стрелками).
3. Составляем систему канонических уравнений.

$$R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} = E_{11}$$

$$R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} = E_{22}$$
4. Определяем собственные сопротивления контуров.
 $R_{11} = R_1 + R_2 = 10 \text{ Ом}; \quad R_{22} = R_2 + R_3 = 8 \text{ Ом};$
5. Определяем общие сопротивления смежных контуров.
 $R_{12} = R_{21} = -R_2 = -4 \text{ Ом}.$
6. Определить собственные ЭДС контуров.
 $E_{11} = E_1 + E_2 = 144 \text{ В}; \quad E_{22} = -E_2 = -64 \text{ В}.$
7. Решаем систему уравнений.
 $I_{11} = 14 \text{ А}; \quad I_{22} = -1 \text{ А}$
8. Меняем направление тока I_{22} на противоположное (стрелка пунктирной линией)
9. Определяем токи в ветвях.
 $I_1 = I_{11} = 14 \text{ А}; \quad I_2 = I_{11} + I_{22} = 15 \text{ А}; \quad I_3 = I_{22} = 1 \text{ А}.$
10. Проверяем результат по уравнению баланса мощностей
 Оба источника работают в режиме генерирования.
 $\Sigma P_{\text{ист}} = \Sigma P_{\text{потр}}$

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2$$

$$2080 = 2080$$
 Получили тождество, следовательно, решение верно.

Метод позволяет уменьшить количество уравнений при небольшом количестве независимых контуров.

Недостаток – метод применяется только для расчета линейных цепей.

Метод двух узлов

Метод является частным вариантом метода узловых потенциалов. Применяется только в цепях с 2-мя узлами.

Алгоритм решения задач методом 2-х узлов

1. Направить токи от узла b к узлу a .
2. Указать направление напряжения U узла a к узлу b .
3. Определить U_{ab}

$$U_{ab} = \frac{\sum \pm E_k G_k}{\sum G_k}, \text{ где } G_k = \frac{1}{R_k} \text{ проводимость}$$

Знак минус, если ЭДС противоположна току.

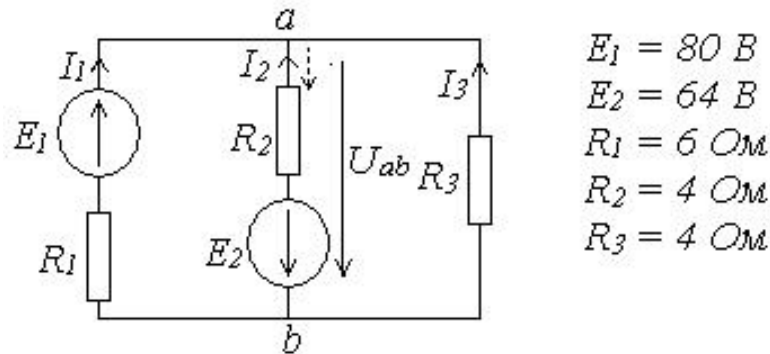
4. Определить токи в ветвях.

$$I_k = \frac{+E_k - U_{ab}}{R_k}, \quad \text{Знак минус, если ЭДС противоположна току.}$$

5. Если ток получился со знаком минус, изменить его направление на противоположное.

6. Проверить результат по уравнению баланса мощностей.

Задача.



Определить токи в ветвях методом двух узлов.

1. Направляем токи от узла b к узлу a (стрелки сплошной линией).

2. Указываем направление напряжения U_{ab} узла a к узлу b .

3. Определяем U_{ab} .

$$U_{ab} = \frac{E_1 G_1 - E_2 G_2}{G_1 + G_2 + G_3} = \frac{80 \frac{1}{6} - 64 \frac{1}{4}}{\frac{1}{6} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4}} = -4 \text{ В}$$

4. Определяем токи в ветвях.

$$I_1 = \frac{+E_1 - U_{ab}}{R_1} = \frac{80 + 4}{6} = 14 \text{ А}$$

$$I_2 = \frac{-E_2 - U_{ab}}{R_2} = \frac{-64 + 4}{4} = -15 \text{ А}$$

$$I_3 = \frac{-U_{ab}}{R_3} = \frac{4}{4} = 1 \text{ А}$$

5. Меняем направление тока I_2 (стрелка пунктирной линией).

6. Проверяем результат по уравнению баланса мощностей

Оба источника работают в режиме генерирования.

$$\Sigma P_{\text{ист}} = \Sigma P_{\text{потр}}$$

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2$$

$$2080 = 2080$$

Получили тождество, следовательно, решение верно.

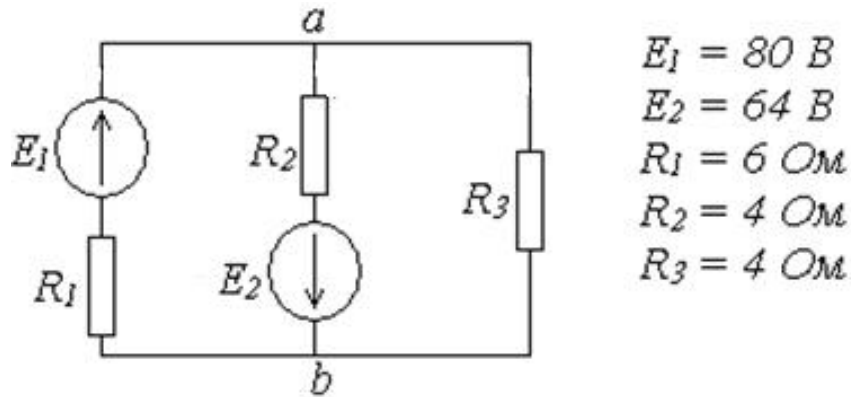
Метод суперпозиции.

Метод основан на принципе суперпозиции. Ток и напряжение каждой ветви цепи равен сумме (с учетом знака) токов и соответственно напряжений, создаваемых каждым из источников. Метод применим только для линейных цепей.

Алгоритм решения задач методом суперпозиции.

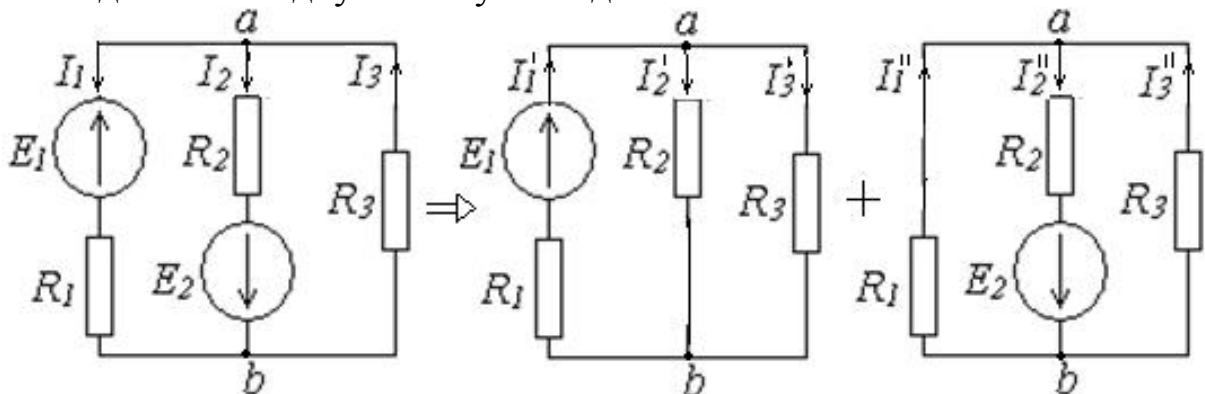
1. Разделить исходную схему на отдельные частные схемы, в каждой из которых только один источник. Остальные источники заменить их внутренними сопротивлениями.
2. Определить токи в ветвях частных схем.
3. Определить токи в ветвях исходной схемы, как сумму (с учетом знака) токов в тех же ветвях.
4. Проверить результат по уравнению баланса мощностей

Задача.



Определить токи в ветвях методом наложения.

1. Разделим исходную схему на отдельные частные схемы.



2. Определим токи в ветвях частных схем.

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 2 \text{ Ом}; \quad I_1' = \frac{E_1}{R_1 + R_{23}} = 10 \text{ А}; \quad U'_{ab} = R_{23} I_1' = 20 \text{ В};$$

$$I_2' = U'_{ab} / R_2 = 5 \text{ А}; \quad I_3' = U'_{ab} / R_3 = 5 \text{ А}.$$

$$R_{13} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 2,4 \text{ Ом}; \quad I_2'' = \frac{E_2}{R_2 + R_{13}} = 10 \text{ А}; \quad U''_{ab} = R_{13} I_2'' = 24 \text{ В};$$

$$I_1'' = U''_{ab} / R_1 = 4 \text{ А}; \quad I_3'' = U''_{ab} / R_3 = 6 \text{ А}.$$

3. Определим токи в ветвях исходной схемы.

$$I_1 = I_1' + I_1'' = 14 \text{ А}; \quad I_2 = I_2' + I_2'' = 15 \text{ А}; \quad I_3 = I_3'' - I_3' = 1 \text{ А}.$$

4. Проверка результата по уравнению баланса мощностей

Оба источника работают в режиме генерирования.

$$\Sigma P_{\text{ист}} = \Sigma P_{\text{потр}}$$

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2$$

$$2080 = 2080$$

Получили тождество, следовательно, решение верно.

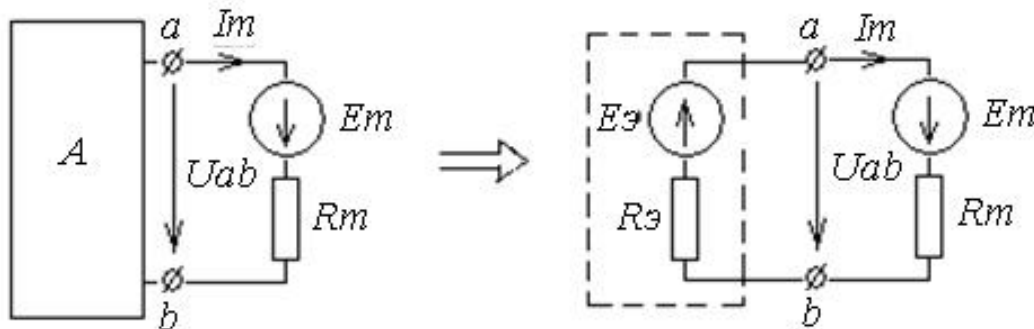
Метод эквивалентного генератора

Метод используется для частичного анализа электрических цепей. Он позволяет рассчитать ток в одной ветви без расчета всей цепи.

Метод основан на теореме об активном двухполюснике.

«Любой многоэлементный активный двухполюсник может быть заменен эквивалентным двухэлементным двухполюсником, состоящим из источника ЭДС или тока соответственно с внутренним сопротивлением или внутренней проводимостью.»

Рассмотрим схему, в которой нужно определить ток в ветви ab . Выделим эту ветвь, а всю остальную схему представим в виде активного двухполюсника.



Согласно теореме об активном двухполюснике можно составить эквивалентную схему, в которой из уравнения $U_{ab} = E_{\text{э}} - R_{\text{э}} I_m$ необходимо определить $E_{\text{э}}$ и $R_{\text{э}}$. Для этого рассмотрим 2 режима.

Режим холостого хода: $I_m = 0$; $E_{\text{э}} = U_{ab\text{хх}}$.

Режим короткого замыкания: $U_{ab} = 0$; $R_{\text{э}} = E_{\text{э}} / I_{\text{к}}$.

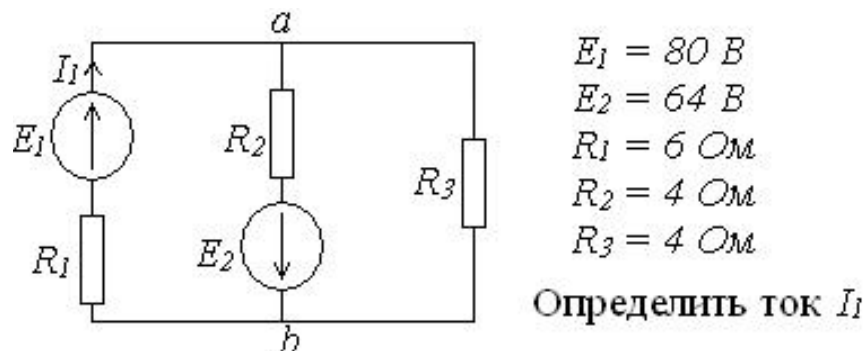
Затем по закону Ома определяется ток I_m .

$$I_m = \frac{U_{ab\text{хх}} + E_m}{R_{\text{э}} + R_m}$$

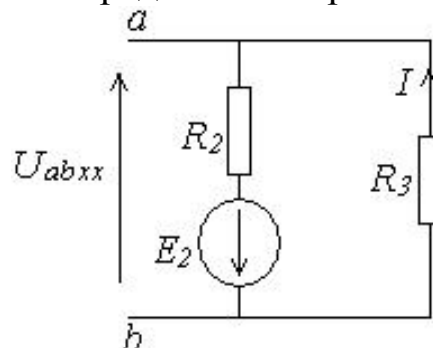
Алгоритм решения задач методом эквивалентного генератора

1. Определить напряжение на зажимах разомкнутой ветви ab .
2. Определить входное сопротивление $R_{\text{вх}} = R_2$ схемы по отношению к зажимам ab . При этом все источники заменяются их внутренними сопротивлениями.
3. По закону Ома определяется ток в ветви ab .

Задача.

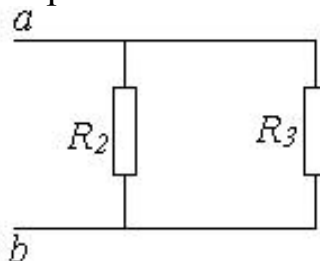


1. Размыкаем ветвь ab и определяем напряжение холостого хода.



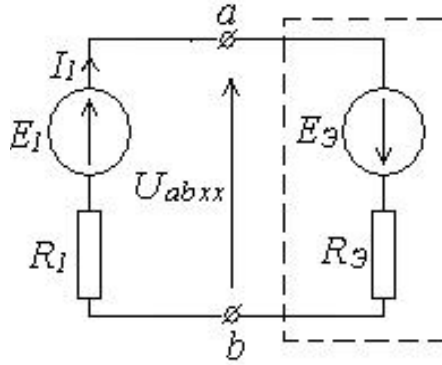
$$I = E_2 / (R_2 + R_3) = 8 \text{ А}; \quad U_{abxx} = R_3 I = 32 \text{ В}.$$

2. Определяем входное сопротивление схемы, учитывая, что внутреннее сопротивление источника равно 0.



$$R_{\text{вх}} = R_2 R_3 / (R_2 + R_3) = 2 \text{ Ом}.$$

3. По закону Ома определяем ток I_1 .



$$I_1 = \frac{E_1 + E_3}{R_1 + R_{\text{вх}}} = \frac{80 + 32}{6 + 2} = 14 \text{ A}$$

Расчет цепей однофазного синусоидального тока

Для таких цепей возможно 2 варианта алгоритма расчета.

Вариант 1.

1. Все величины перевести в комплексную форму. Если напряжение задано в виде действующего значения, то начальную фазу можно задать произвольно (обычно равной нулю). Например, если задано U , то можно записать $\dot{U} = Ue^{j0^\circ}$.

2. Преобразовать схему до простейшей, в которой только одно комплексное сопротивление.

3. Рассчитать неизвестные токи и напряжения.

4. Проверить результат по уравнению баланса мощности и определить коэффициент мощности.

5. Построить векторные диаграммы токов и напряжений.

Вариант 2 (для простых схем).

1. Определить действующие значения заданных ЭДС, токов и напряжений.

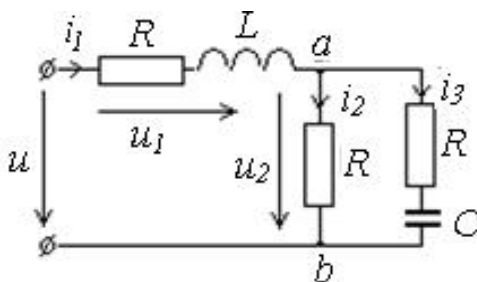
2. Рассчитать действующие значения токов и напряжений на отдельных участках цепи.

3. Определить углы сдвига фаз между токами и напряжениями.

4. Определить активные, реактивные, полные, а также суммарные мощности и коэффициент мощности.

5. Построить векторные диаграммы токов и напряжений.

Задача.



$$R=4 \text{ Ом}, \quad L=10 \text{ мГн}, \quad C=1062 \text{ мкФ}, \quad u=140\sin(314t+30^\circ) \text{ В}.$$

Определить токи, мощности и построить векторную диаграмму токов и напряжений.

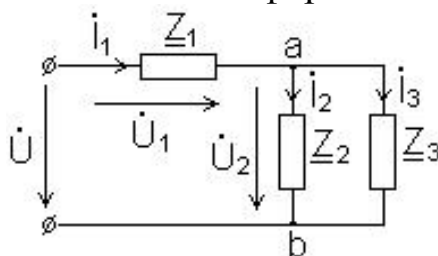
1. Переводим все величины в комплексную форму.

Действующее значение напряжения $U = U_m / \sqrt{2} = 140 / \sqrt{2} = 100 \text{ В}$,
 $\dot{U} = 100 e^{j30^\circ} \text{ В}$,

$$X_L = \omega L = 314 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 3 \text{ Ом},$$

$$X_C = 1 / \omega C = 1 / (314 \cdot 1062 \cdot 10^{-6}) = 3 \text{ Ом}.$$

2. Представим схему в комплексной форме.



3. Определяем комплексные сопротивления.

В алгебраической форме

$$\underline{Z}_1 = R + jX_L = 4 + j3 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_2 = R = 4 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_3 = R - jX_C = 4 - j3 \text{ Ом}$$

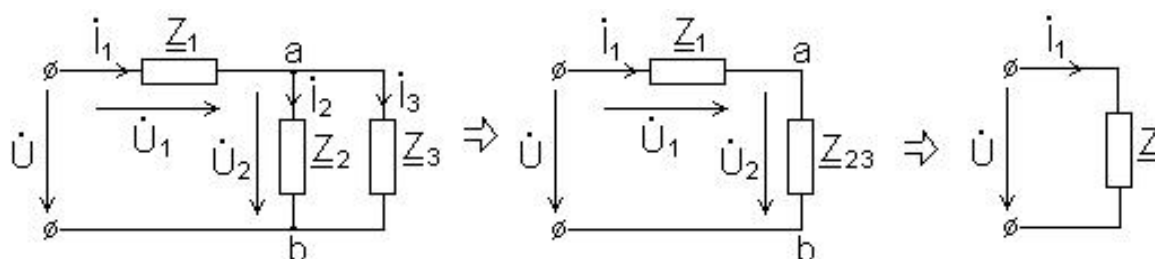
В показательной форме

$$\underline{Z}_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2} e^{j \arctg X/R} = 5 e^{j37^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_2 = R = 4 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_3 = \sqrt{R^2 + X_C^2} e^{j \arctg X/R} = 5 e^{-j37^\circ} \text{ Ом}$$

4. Преобразуем схему.



5. Определим сопротивления схем.

$$\frac{1}{Z_{23}} = \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}; \quad Z_{23} = \frac{16 - j12}{8 - j3}.$$

Чтобы избавиться от комплексного числа в знаменателе, числитель и знаменатель умножим на сопряженное комплексное число знаменателя, т. е. на комплексное число, у которого знак перед мнимой частью изменен на противоположный.

$$Z_{23} = \frac{16 - j12}{8 - j3} = \frac{(16 - j12)(8 + j3)}{(8 - j3)(8 + j3)} = 2,246 - j0,657 \text{ Ом}$$

$$Z_{23} = 2,34e^{-j16,3^\circ} \text{ Ом};$$

$$Z = Z_1 + Z_{23} = 6,246 + j2,343 \text{ Ом};$$

$$Z = 6,67 e^{j20,6^\circ} \text{ Ом}$$

6. Определим входной ток.

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{Z} = \frac{100e^{j30^\circ}}{6,67e^{j20,6^\circ}} = 15e^{j9,4^\circ} \text{ А.}$$

Представим ток в алгебраической форме записи (по формуле Эйлера).

$$\underline{I}_1 = 15 \cos 9,4^\circ + j15 \sin 9,4^\circ = 14,8 + j2,45 \text{ А.}$$

7. Определим напряжение \underline{U}_2 .

$$\underline{U}_2 = Z_{23} \underline{I}_1 = 2,34e^{-j16,3^\circ} 15 e^{j9,4^\circ} = 35,1 e^{-j6,9^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_2 = 35,1 \cos 6,9^\circ - j35,1 \sin 6,9^\circ = 34,85 - j4,22 \text{ В.}$$

8. Определим остальные токи.

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_2}{Z_2} = \frac{35,1e^{-j6,9^\circ}}{4} = 8,77e^{-j6,9^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_2 = 8,7 - j1,05 \text{ A};$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_2}{Z_3} = \frac{35,1 e^{-j6,9^\circ}}{5 e^{-j37^\circ}} = 7,02 e^{j30,1^\circ} \text{ A};$$

$$\dot{I}_3 = 6,07 + j3,52 \text{ A}.$$

9. Проверим токи по первому закону Кирхгофа.

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 14,77 + j2,47 = 15 e^{j9,4^\circ} \text{ A}.$$

10. Определим напряжение \dot{U}_1 .

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 Z_1 = 15 e^{j9,4^\circ} 5 e^{j37^\circ} = 75 e^{j46,4^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_1 = 51,7 + j54,3 \text{ В}.$$

11. Проверим напряжения по второму закону Кирхгофа.

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = 86,55 + j50,08 = 100 e^{j30^\circ} \text{ В}.$$

12. Проверка по балансу мощностей.

$$\sum \underline{S}_{\text{ист}} = \sum \underline{S}_{\text{потр}} \text{ или } \sum P_{\text{ист}} = \sum P_{\text{потр}}, \quad \sum Q_{\text{ист}} = \sum Q_{\text{потр}}$$

$$\sum \underline{S}_{\text{ист}} = \dot{U} \dot{I}_1^*, \text{ где } \dot{I}_1^* - \text{сопряженный комплекс тока.}$$

$$\sum \underline{S}_{\text{ист}} = 100 e^{j30^\circ} 15 e^{-j9,4^\circ} = 1500 e^{j20,6^\circ} =$$

$$= 1500 \cos 20,6^\circ + j1500 \sin 20,6^\circ = 1404 + j528 \text{ ВА};$$

$$P_{\text{ист}} = 1404 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{ист}} = 528 \text{ вар};$$

$$\sum P_{\text{потр}} = R_1 \dot{I}_1^2 + R_2 \dot{I}_2^2 + R_3 \dot{I}_3^2 = 4(15^2 + 8,77^2 + 7,02^2) = 1404 \text{ Вт};$$

$$\sum Q_{\text{потр}} = X_L \dot{I}_1^2 - X_C \dot{I}_3^2 = 3(15^2 - 7,02^2) = 528 \text{ вар}.$$

13. Определим коэффициент мощности.

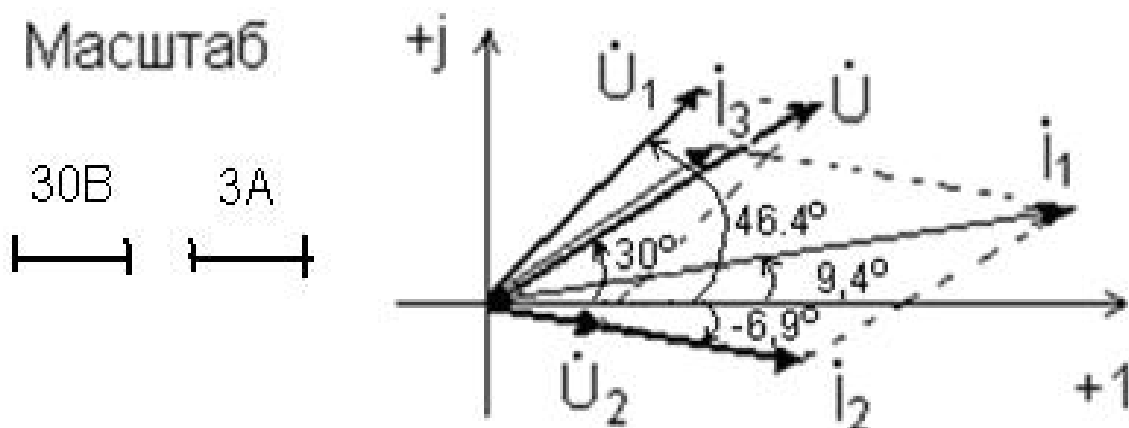
$$\cos \varphi = P / S = 1404 / 1500 = 0,936$$

14. Построение векторной диаграммы токов и напряжений.

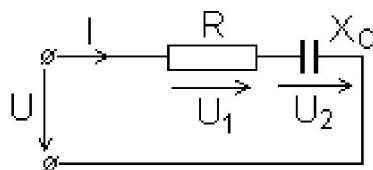
Построить векторную диаграмму, это значит на комплексной плоскости изобразить векторные уравнения токов и напряжений.

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2, \text{ где } \dot{U} = 100 e^{j30^\circ} \text{ В}; \quad \dot{U}_1 = 75 e^{j46,4^\circ} \text{ В}; \quad \dot{U}_2 = 35,1 e^{-j6,9^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3, \text{ где } \dot{I}_1 = 15 e^{j9,4^\circ} \text{ А}; \quad \dot{I}_2 = 8,77 e^{-j6,9^\circ} \text{ А}; \quad \dot{I}_3 = 7,02 e^{j30,1^\circ} \text{ А}.$$



Задача.



$U = 100 \text{ В}$, $R = 3 \text{ Ома}$, $X_C = 4 \text{ Ома}$.

Определить ток, напряжения, мощности, коэффициент мощности и построить векторную диаграмму тока и напряжений

Поскольку схема простая, то можно использовать второй вариант алгоритма расчета.

1. Определим полное сопротивление цепи.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = 5 \text{ Ом.}$$

2. По закону Ома определим входной ток.

$$I = U / Z = 20 \text{ А.}$$

2. Определим угол сдвига фаз между входным током и входным напряжением.

$$\varphi = -\arctg(X_C / R) = -53^\circ.$$

Входной ток опережает входное напряжение на 53° .

3. Определим напряжение U_1 и угол сдвига фаз между напряжением U_1 и током.

$$U_1 = R I = 60 \text{ В}; \quad \varphi_1 = 0.$$

4. Определим напряжение U_2 и угол сдвига фаз между напряжением U_2 и током.

$$U_2 = X_C I = 80 \text{ В}; \quad \varphi_2 = -90^\circ$$

Ток опережает напряжение U_2 на 90° .

5. Проверим результат по второму закону Кирхгофа.

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2} = 100 \text{ В.}$$

6. Определим активную мощность.

$$P = R I^2 = 1200 \text{ Вт.}$$

7. Определим реактивную мощность.

$$Q = X_C I^2 = 1600 \text{ вар.}$$

8. Определим полную мощность.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 2000 \text{ ВА.}$$

9. Определим коэффициент мощности.

$$\cos \varphi = P / S = 0,6.$$

10. Строим векторную диаграмму. В качестве базисного вектора здесь удобно взять вектор тока. Направим его по оси действительных чисел.

