## Лабораторно-практическое занятие № 4
# ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

### Типовые задачи

**Задача 4.1.** Заданы параметры элементов электрической цепи (рис. 4.1) и входное напряжение $U_{\text{ВХ}}=141\cdot\sin 314t$ В.

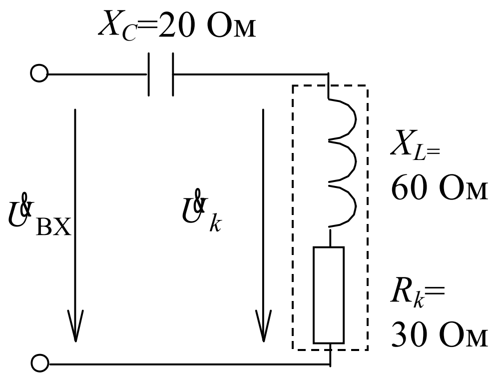


Рис. 4.1

Определить напряжение на катушке $\dot{U}_k$ и построить векторную диаграмму тока и напряжений, используя данные таблицы 4.1.

*Решение*

Расчет цепи проведем, используя *комплексный* метод анализа цепей синусоидального тока.

Представим все электрические величины ($\dot{U}_{\text{ВХ}}$, $\underline{Z}_C$ , $\underline{Z}_L$ , $\underline{Z}_R$) в комплексной форме (рис. 4.2) и определим комплексный ток цепи $\dot{I}$

$$\dot{U}_{BX} = Ue^{j\psi_{U_{\text{ВХ}}}} = 100e^{j0}\text{ В},$$

$$\underline{Z}_C = -j\,X_C\,; \quad \underline{Z}_L = j\,X_L\,; \quad \underline{Z}_R = R_K,$$

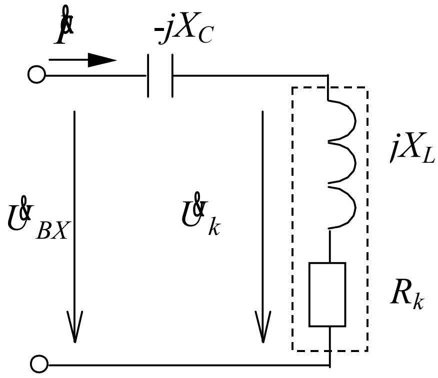


Рис. 4.2

где $U = U_m/\sqrt{2}$ – действующее значение входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$, В.

Полное комплексное сопротивление цепи с последовательно соединенными элементами $\underline{Z}_{\text{ВХ}}$ равно сумме комплексных сопротивлений этих элементов

$$\underline{Z}_{BX} = \underline{Z}_C + \underline{Z}_L + \underline{Z}_R = -j\,X_C + j\,X_L + R_k =$$

$$= R_k + j\,(X_L - X_C) = 30 + j\,(60 - 20) = 30 + j40 \text{ Ом}.$$

В показательной форме записи

$$\underline{Z}_{\text{ВХ}} = Z\,e^{j\varphi} = 50e^{j53^\circ}\text{ Ом}\,;$$

$$(Z = \sqrt{R_k^{\ 2} + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ Ом};$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{X_L - X}{R_k} = \operatorname{arctg}\frac{40}{30} = 53{,}13° \approx 53°).$$

По закону Ома определим величину комплексного тока цепи $\dot{I}$

$$\dot{I} = \dot{U}_{\text{ВХ}} / \underline{Z}_{\text{ВХ}} = 100e^{j0}/(5e^{j53°}) = (100/5)e^{j(0-53°)} = 2e^{-j53°} \text{ А}.$$

Комплексное напряжение на катушке $\dot{U}_k$ также можно определить по закону Ома, но предварительно следует определить комплексное сопротивление катушки $\underline{Z}_k$

$$\underline{Z}_k = R_k + j\,X_L = 30 + j\,60 \text{ Ом},$$

или в показательной форме записи

$$\underline{Z}_k = Z_k\, e^{j\varphi k} = 67e^{j\,63{,}4°} \text{ Ом}$$

$$(Z_k = \sqrt{R_k^{\ 2} + X_L^{\ 2}} = \sqrt{30^2 + 60^2} = 67 \text{Ом};$$

$$\varphi_k = \operatorname{arctg}\frac{X_L}{R_k} = \operatorname{arctg}\frac{60}{30} = 63{,}4°)\ .$$

Тогда $\dot{U}_k = \underline{Z}_k \dot{I} = 67e^{j63{,}4°} \cdot 2e^{-j53°} = (67 \cdot 2)e^{j(63{,}4° - 53°)} = 134\, e^{j10{,}4°}$ В.

Соответственно мгновенное значение напряжения на катушке

$$u_k = 134 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin 314t = 189 \cdot \sin 314t \text{ В}.$$

Векторные диаграммы напряжений и тока в неразветвленной цепи синусоидального тока (рис. 4.3) строят на комплексной плоскости в соответствии с уравнением, составленным по второму закону Кирхгофа (4.1) и с учетом фазовых сдвигов напряжений $\dot{U}_{Rk}, \dot{U}_L, \dot{U}_C$ и тока $\dot{I}$ во времени

$$\dot{U} = \dot{U}_C + \dot{U}_L + \dot{U}_{Rk}. \qquad (4.1)$$

Здесь

$$\dot{U}_{R\kappa} = \underline{Z}_R\, \dot{I} = R_k \dot{I} = 30 \cdot 2e^{-j53°} = 60e^{-j53°} \text{ В},$$

$$\dot{U}_C = \underline{Z}_C\, \dot{I} = (-j\,X_C)\,\dot{I} = (-j20 \cdot 2e^{-j53°}) = 20e^{-j90°} \cdot 2e^{-j53°} = 40\, e^{-j143°} \text{ В},$$

$$\dot{U}_L = \underline{Z}_L\, \dot{I} = (j\,X_L)\,\dot{I} = (j\,60) \cdot 2e^{-j53°} = 60\, e^{-j90°} \cdot 2e^{-j53°} = 120e^{j37°} \text{ В}.$$

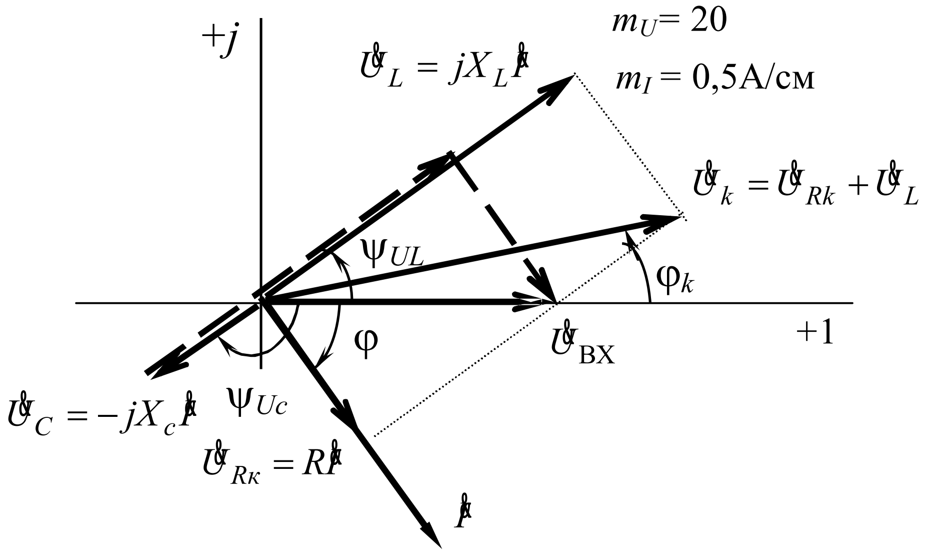


Рис. 4.3

**Задача 4.2.** Заданы параметры элементов электрической цепи (активные и реактивные сопротивления заданы в Омах) и входное напряжение $U_{ВХ}$=50 В (рис. 4.4). Определить напряжение $\dot U_{ab}$, потребляемое активную и полную мощности, используя данные таблицы 4.2. Построить векторную диаграмму тока и напряжений.

*Решение*

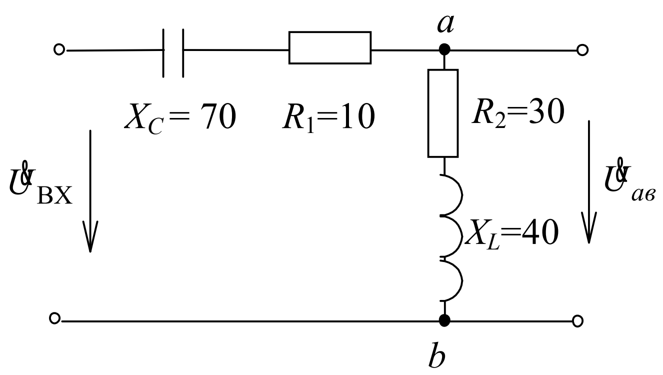


Рис. 4.4

Расчет цепи ведем *комплексным методом.*

*Алгоритм расчета* имеет следующий вид: представляем все электрические величины ($\dot U_{ВХ}$, $\underline{Z}_C$ , $\underline{Z}_L$ , $\underline{Z}_{R1}$, $\underline{Z}_{R2}$) в комплексной форме и определяем комплексный ток цепи $\dot I$, далее определяем комплексное напряжение $\dot U_{ab}$ на участке цепи (*a* – *b*):

$$\dot I = \dot U_{ВХ}/\underline{Z}_{ВХ}, \qquad \dot U_{ab} = \underline{Z}_{ab}\,\dot I.$$

Так как задано действующее значение входного напряжения, то, принимая его начальную фазу $\psi_{U\text{вх}}$ равной нулю, запишем $\dot U_{ВХ}$:

$$\dot U_{ВХ} = U_{ВХ}e^{j\psi_{U_{ВХ}}} = 50e^{j0}\text{ В}.$$

Полное комплексное сопротивление цепи с последовательным соединением элементов $\underline{Z}_{\text{ВХ}}$ равно сумме комплексных сопротивлений этих элементов

$$\underline{Z}_{\text{ВХ}} = \underline{Z}_C + \underline{Z}_{R1} + \underline{Z}_{R2} + \underline{Z}_L = -j\,X_C + R_1 + R_2 + j\,X_L =$$

$$= R_1 + R_2 + j\,(X_L - X_C) = R + j\,X = 40 - j30 \text{ Ом}.$$

В показательной форме записи $\underline{Z}_{\text{ВХ}} = Z\,e^{j\varphi}$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50 \text{Ом};$$

$$\varphi = \text{arctg}\frac{X}{R} = \text{arctg}\frac{-30}{40} = -36{,}87° \approx -37°;$$

$$\underline{Z}_{\text{ВХ}} = Z\,e^{j\varphi} = 50\,e^{-j37°} \text{ Ом}.$$

Определяем комплексный ток цепи $\dot{I}$

$$\dot{I} = \dot{U}_{\text{ВХ}} / \underline{Z}_{\text{ВХ}} = 50e^{j0} / 50e^{-j37°} = 1e^{j37°} \text{ А}.$$

Комплексное сопротивление $\underline{Z}_{\text{ab}}$ на участке цепи ($a - b$):

$$\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{R2} + \underline{Z}_L = R_2 + j\,X_L = 30 + j40 \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{ab} = Z_{ab}e^{j\varphi ab} = 50e^{j53°} \text{ Ом};$$

$$(Z_{ab} = \sqrt{R_2{}^2 + X_L{}^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ Ом},\ \varphi_{ab} = \text{arctg}\frac{X_L}{R_2} = \text{arctg}\frac{40}{30} = 53{,}13° \approx 53°).$$

Находим комплексное напряжение $\dot{U}_{ab}$

$$\dot{U}_{ab} = \dot{I} \cdot \underline{Z}_{ab} = 1e^{\,j37°} \cdot 50e^{j53°} = 1 \cdot 50^{\,j(37° + 53°)} = 50e^{j90°} \text{ В}.$$

Определим активную мощность цепи $P$

$$P = U{\cdot}I \cos\varphi = 50{\cdot}1{\cdot}\cos(-37°) = 40 \text{ Вт}.$$

Активную мощность цепи можно определить и как

$$P = (R_1 + R_2)I^2 = 1^2{\cdot}(10 + 30) = 40 \text{ Вт}.$$

Полная мощность цепи $S$ равна:

$$S = U{\cdot}I = 50{\cdot}1 = 50 \text{ ВА}.$$

Построим векторную диаграмму напряжений и тока цепи в соответствии с уравнением второго закона Кирхгофа и с учетом фазовых сдвигов напряжений $\dot{U}_{\text{ВХ}}, \dot{U}_C, \dot{U}_{R1}, \dot{U}_{R2}, \dot{U}_L, \dot{U}_{ab}$ и тока $\dot{I}$ во времени (рис. 4.5):

$$\dot{U} = \dot{U}_C + \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{R2} + \dot{U}_L. \qquad (4.2)$$

Найдем слагаемые уравнения (4.2) – комплексные напряжения на элементах цепи:

$$\dot{U}_C = \underline{Z}_C\,\dot{I} = (-j\,X_C\,)\dot{I} = (-j70)\cdot 1e^{j37^\circ} = 70e^{-j90^\circ}\cdot 1e^{j37^\circ} = 70e^{-j53^\circ}\ \text{В};$$

$$\dot{U}_{R1} = R_1\dot{I} = 10\cdot 1e^{j37^\circ} = 10e^{j37^\circ}\ \text{В}; \qquad \dot{U}_{R2} = R_2\dot{I} = 40\cdot 1e^{j37^\circ} = 40e^{j37^\circ}\ \text{В};$$

$$\dot{U}_L = \underline{Z}_L\,\dot{I} = (j\,X_L)\dot{I} = (\,j\,40)\cdot 1e^{j37^\circ} = 40e^{j90^\circ}\cdot 1e^{j37^\circ} = 40e^{j127^\circ}\ \text{В}.$$

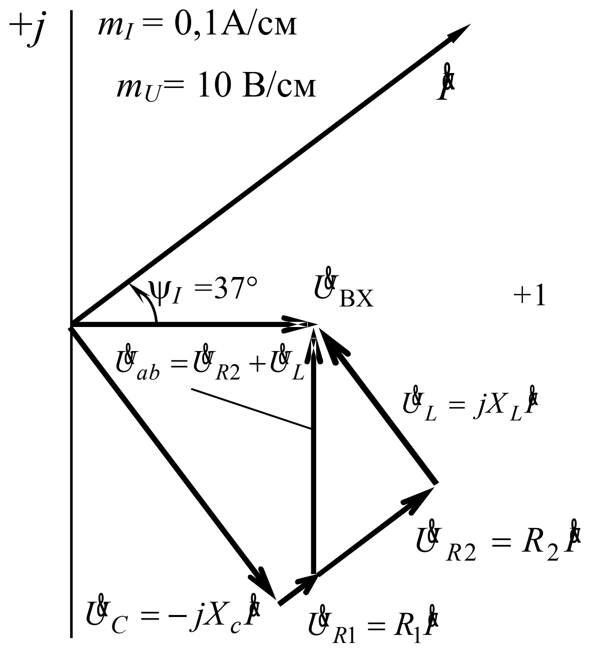


Рис. 4.5

Располагаем вектор тока $\dot{I}$ в выбранном масштабе под углом $\psi_I$ к оси действительных чисел, откладывая этот угол 37° против часовой стрелки (как и все положительные значения углов).

Геометрическая сумма всех векторов $\sum \dot{U}_I$ равна вектору входного напряжения $\dot{U}_{ВХ}$, который располагается вдоль оси вещественных чисел (начальная фаза равна нулю).

Построение на векторной диаграмме векторов напряжений производим последовательно – к концу одного вектора прикладываем начало следующего вектора в соответствии с уравнением (4.2).

Векторы напряжений на резистивных элементах $\dot{U}_{R1}$ и $\dot{U}_{R2}$ совпадают по фазе с током и располагаются параллельно вектору $\dot{I}$. Вектор напряжения на емкостном элементе $\dot{U}_C$ отстает по фазе от вектора $\dot{I}$ на 90°, а вектор напряжения на индуктивном элементе $\dot{U}_L$ опережает по фазе вектор тока $\dot{I}$ на 90°. Вектор напряжения $\dot{U}_{ab}$ определяется также в соответствии со вторым законом Кирхгофа как

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{R2} + \dot{U}_L$$

и располагается перпендикулярно оси вещественных чисел ($\psi_{Uab}$ = 90°).

**Задача 4.3.** В цепи с параметрами, заданными в Омах, протекает ток $i = 1\sqrt{2}\sin(\omega t + 20^\circ)$ (рис. 4.6). Определить, используя данные таблицы 4.3, между какими точками в этой цепи будет наблюдаться наибольшее напряжение. Задачу рекомендуется решать с помощью векторной диаграммы.

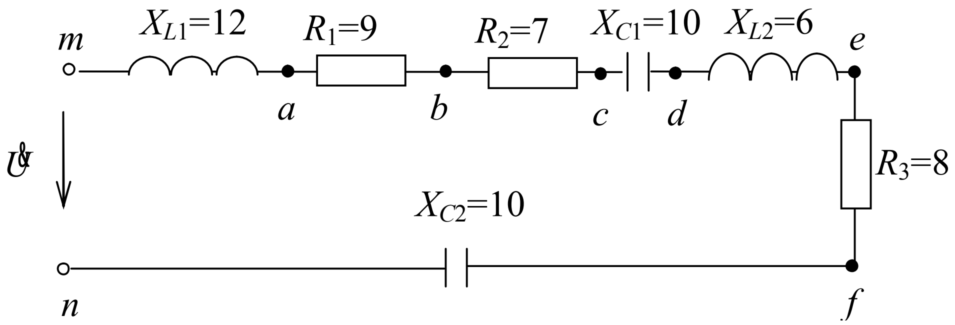

Рис.4.6

*Решение*

Проведем расчет двумя способами.

Первоначально рассмотрим следующий *алгоритм расчета* цепи: представляем все электрические величины ($\dot{I}$, $\underline{Z}_i$ ) в комплексной форме, определяем полное комплексное сопротивление цепи $\underline{Z}_{mn}$ и далее определяем комплексное напряжение $\dot{U}_{mn}$ на входе, а также комплексные напряжения на отдельных участках цепи $\dot{U}_{ij}$:

$$\dot{U}_{mn} = \dot{I}\underline{Z}_{mn} \;; \qquad \dot{U}_{ij} = \dot{I}\,\underline{Z}_{ij}. \qquad (4.3)$$

Запишем комплексное значение тока в цепи. Модуль комплексного тока равен действующему значению тока $I = I_m/\sqrt{2} = 1A$, а аргумент комплексного числа равен начальной фазе $\psi_i$ =20°;
$\dot{I} = I\,e^{j\psi_i} = 1e^{j20^\circ}$ А.

Полное комплексное сопротивление цепи с последовательным соединением элементов $\underline{Z}_{mn}$ равно сумме комплексных сопротивлений этих элементов

$$\underline{Z}_{mn} = j\,X_{L1} + R_1 + R_2 - j\,X_{C1} + j\,X_{L2} + R_3 - j\,X_{C2} =$$
$$= R_1 + R_2 + R_3 + j(X_{L1} + X_{L2} - X_{C1} - X_{C2}) = R + j\,X = 24 - j2 \text{ Ом}.$$

В показательной форме записи

$$\underline{Z}_{mn} = Z\,e^{j\varphi} = 24{,}083\;e^{-j4{,}76^\circ} \text{ Ом};$$

$$\text{где } Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{24^2 + (-2)^2} = 24{,}083 \text{ Ом};$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{X}{R} = \operatorname{arctg}\frac{-2}{24} = -\,4{,}76^\circ.$$

Следовательно,

$$\dot{U}_{mn} = \underline{Z}_{mn}\,\dot{I} = 24{,}083e^{-j4{,}76^\circ}\;1e^{j20^\circ} = 24{,}083e^{\,j15{,}24^\circ} \text{ В}.$$

Определяем комплексные напряжения на элементах цепи:

$$\dot{U}_{L1} = (jX_{L1})\dot{I} = (j12)\cdot 1e^{j20^\circ} = 12\,e^{j90^\circ}\cdot 1e^{j20^\circ} = 12e^{j110^\circ}\ \text{В};$$

$$\dot{U}_{L2} = (jX_{L2})\,\dot{I} = (j6)\cdot 1e^{j20^\circ} = 6e^{j90^\circ}\cdot 1\,e^{j20^\circ} = 6e^{\,j110^\circ}\ \text{В};$$

$$\dot{U}_{C1} = (-j\,X_{C1})\dot{I} = (-j10)\cdot 1e^{j20^\circ} = 10\,e^{-j90^\circ}\cdot 1e^{j20^\circ} = 10e^{-j70^\circ}\ \text{В}; \qquad (4.4)$$

$$\dot{U}_{C2} = (-j\,X_{C1})\dot{I} = (-j\,10)\cdot 1\,e^{j20^\circ} = 10e^{-j90^\circ}\cdot 1e^{j20^\circ} = 10e^{-j70^\circ}\ \text{В};$$

$$\dot{U}_{R1} = R_1\dot{I} = 9\cdot 1e^{j20^\circ} = 9e^{j0^\circ}\cdot\ 1e^{j20^\circ} = 9e^{j20^\circ}\ \text{В};$$

$$\dot{U}_{R2} = R_2\,\dot{I} = 7\cdot 1e^{j20^\circ} = 7e^{j\,0^\circ}\cdot 1e^{j20^\circ} = 7e^{j20^\circ}\ \text{В};$$

$$\dot{U}_{R3} = R_2\dot{I} = 8\cdot 1e^{j20^\circ} = 8e^{j\,0^\circ}\cdot\ 1e^{j20^\circ} = 8e^{j20^\circ}\ \text{В}.$$

Далее определяем комплексные сопротивления различных участков цепи $\underline{Z}_{ij}$:

$$\underline{Z}_{mb} = R_1 + j\,X_{L1} = 9 + j12 = 15e^{j53^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{mc} = R_1 + R_2 + j\,X_{L1} = 16 + j12 = 20e^{j37^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{md} = R_1 + R_2 + j(\,X_{L1} - X_{C1}) = 16 + j2 = 16{,}125\,e^{j7{,}125^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{me} = R_1 + R_2 + j(\,X_{L1} + X_{L2} - X_{C\,1}) = 16 + j8 = 17{,}89e^{j26{,}56^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{mf} = R_1 + R_2 + R_3 + j(\,X_{L1} + X_{L2} - X_{C1}) = 24 + j8 = 25{,}3e^{j18{,}43^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{an} = R_1 + R_2 + R_3 + j\,(X_{L2} - X_{C1} - X_{C2}) = 24 - j14 = 27{,}78\,e^{-j30{,}26^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{bn} = R_2 + R_3 + j\,(X_{L2} - X_{C1} - X_{C2}) = 15 - j14 = 20{,}52\,e^{-j43^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{cn} = R_3 + j\,(X_{L2} - X_{C1} - X_{C2}) = 8 - j14 = 16{,}125\,e^{-j60{,}25^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{dn} = R_3 + j\,(X_{L2} - X_{C2}) = 8 - j4 = 8{,}25\,e^{-j26{,}56^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{en} = R_3\ - j\,X_{C3} = 8 - j10 = 12{,}8\,e^{-j51{,}34^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{af} = R_1 + R_2 + R_3 + j(X_{L2} - X_{C1}) = 24\ - j4 = 24{,}33\,e^{-j9{,}46^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{bf} = R_2 + R_3 + j(X_{L2} - X_{C1}) = 15 - j4 = 15{,}5\,e^{-j14{,}9^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{cf} = R_3 + j(X_{L2} - X_{C1}) = 8\ - j4 = 8{,}94\,e^{-j26{,}56^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{df} = R_3 + jX_{L2} = 8 + j6 = 10\,e^{j37^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{be} = R_2 + j\,(X_{L2} - X_{C1}) = 7 - j4 = 8{,}06\,e^{-j29{,}7^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{ae} = R_1 + R_2 + j\,(X_{L2} - X_{C1}) = 16 - j4 = 16{,}5\,e^{-j14^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{ad} = R_1 + R_2\ - j\,X_{C1} = 16 - j10 = 18{,}87\,e^{-j29^\circ}\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{ac} = R_1 + R_2 = 16^\circ\ \text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{ce} = \mathrm{j}\,(X_{L2} - X_{C1}) = -j4 = 4e^{-j90°} \text{ Ом.}$$

И, наконец, можем определить в соответствии с (4.3) напряжения на всех участках $\dot{U}_{ij} = \underline{Z}_{ij}\,\dot{I}$. Однако очевидно, что при последовательном соединении элементов по всем элементам протекает один и тот же ток, и, следовательно, максимальное напряжение будет соответствовать участку цепи с максимальным по модулю сопротивлением, то есть это участок между точками $a$ и $n$

$$\dot{U}_{an} = \underline{Z}_{an}\,\dot{I} = 27{,}78e^{-j30{,}26°} \cdot 1e^{j20°} = 27{,}78e^{-j10{,}26°} \text{ В.}$$

Таким образом, *максимальное напряжение $U_{an}$ составляет 27,78В.*

Проведем расчет другим способом.

Построим векторную диаграмму цепи (рис.4.7), для которой, в соответствии со вторым законом Кирхгофа, справедливо:

$$\dot{U}_{mn} = \dot{U}_{L1} + \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{R2} + \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{L2} + \dot{U}_{R3} + \dot{U}_{C2}$$

Тогда, с учетом (4.4)

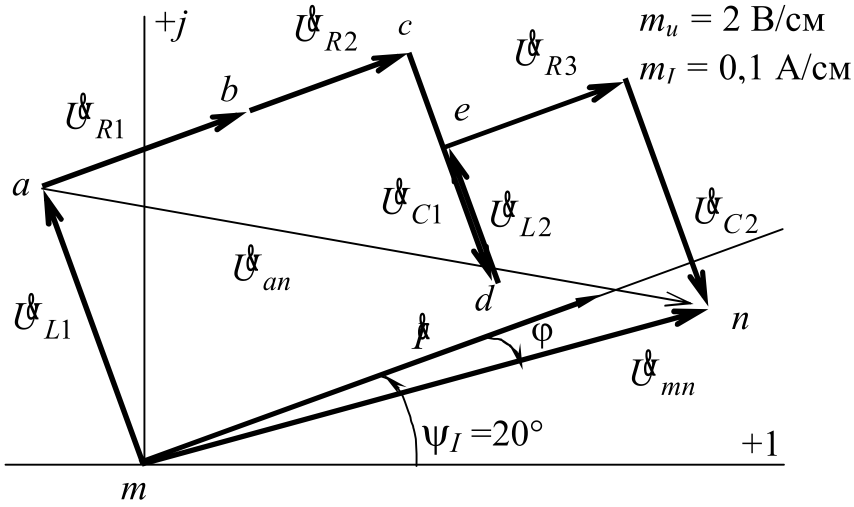


Рис. 4.7

Из векторной диаграммы, в результате простых и очевидных геометрических соображений, приходим к выводу, что вектор между точками $a$ и $n$ имеет наибольшую длину, то есть наибольший модуль напряжения $U_{an}$.

Рассчитать его можно следующим образом:

$$U_{an} = \sqrt{(U_{R1} + U_{R2} + U_{R3})^2 + (U_{L2} - U_{C1} - U_{C2})^2} =$$

$$= \sqrt{(9+7+8)^2 + (6-10-10)^2} = 27{,}78 \text{ В.}$$

Таким образом, получаем тот же результат, что и в предыдущем случае, однако при большей наглядности и меньших затратах времени на вычислительные операции.

**Задача 4.4.** В неразветвленной электрической цепи, содержащей $R$=40 Ом, $X_L$=7 Ом и $X_C$=10 Ом, приложенное напряжение $U$=220 В при частоте $f$=50 Гц.

Определить частоту $f_o$, при которой возникает резонанс напряжений, ток $I_o$, а также полную мощность $S_o$ цепи при резонансе, исходя из данных таблицы 4.4.

*Решение*

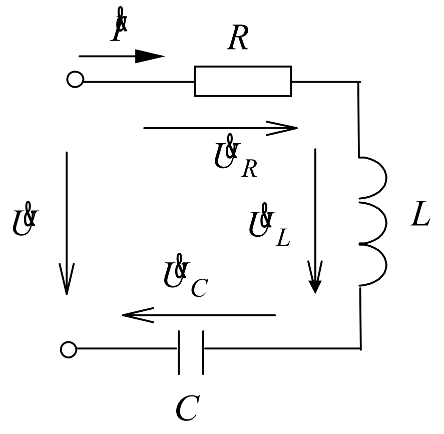


Рис. 4.8

В цепи (рис. 4.8) с последовательно соединенными *R, L, C* – элементами возможен режим, когда реактивное сопротивление $X$=0 и $\varphi = 0$, что имеет место при равенстве абсолютных значений и индуктивного и емкостного сопротивлений, т. е. при $|X_L| = |X_C|$. При этом выполняется условие $|U_L| = |U_C|$ и $\varphi$ =0, причем действующие значения этих напряжений могут превышать напряжение $U$ на зажимах цепи.

*Режим работы электрической цепи при последовательном соединении активного, индуктивного и емкостного элементов, когда угол сдвига фаз между напряжением и током цепи равен нулю, называется резонансом напряжений.*

Следовательно, при резонансе напряжений $X = X_L - X_C = 0$, или $X_L = X_C$.

Из равенства реактивных сопротивлений $\omega L = 1/\omega C$ следует, что режим резонанса напряжений в электрической цепи возникает при частоте

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \qquad (4.5)$$

называемой резонансной, которая определяет частоту незатухающих колебаний данной цепи и характеризует установление в ней наибольшего тока $I_{max}$, так как при этом $Z \to \min$.

Определим индуктивность $L$ и емкость $C$ рассматриваемой цепи по величинам заданных реактивных сопротивлений:

$$L = X_L/\omega = X_L/(2\pi f) = 7 / (2\pi\cdot 50) = 22{,}28 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 22{,}28 \text{ мГн},$$

$$C = 1/(\omega X_C) = 1/(2\pi f X_C) = 1/(2\pi\cdot 50\cdot 10) = 3{,}183\cdot 10^{-4} \text{ Ф} = 318{,}3 \text{ мкФ}.$$

Подставим полученные значения $L$ и $C$ в (4.5) определим резонансную частоту

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{22{,}28\cdot 10^{-3}\cdot 3{,}183\cdot 10^{-4}}} = 59{,}765 \approx 60 \text{ Гц}.$$

Определим ток $I_0$, а также полную мощность $S_0$ цепи при резонансе.

Модуль комплексного сопротивления цепи (полное сопротивление)

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + \left(X_L - X_C\right)^2},$$

и так как при резонансе напряжений $X = X_L - X_C = 0$, то при этом $Z \to \min Z = R$, а угол сдвига фаз

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{X}{R} = \operatorname{arctg}\frac{X_L - X_C}{R} = \operatorname{arctg}\frac{0}{R} = 0.$$

Следовательно, модуль комплексного тока цепи (равный действующему значению тока цепи) при резонансе

$$I_0 = U / R = 220 / 40 = 5{,}5 \text{ А}.$$

Полная мощность цепи при резонансе:

$$S = U I_0 = 220\cdot 5{,}5 = 1210 \text{ ВА}.$$

**Варианты заданий к самостоятельной работе**

Таблица 4.1

| Параметры | Вариант | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $U_m$, В | 141 | 14,1 | 282 | 28,2 | 42,3 | 56,4 | 84,6 | 98,7 |
| $\psi_u$, рад | -π /4 | π /6 | π /2 | π /3 | -π /3 | -π /6 | π /4 | -π /2 |
| $X_C$ ,Ом | 60 | 12 | 60 | 4 | 12 | 24 | 24 | 12 |
| $X_L$ ,Ом | 30 | 6 | 120 | 12 | 4 | 8 | 12 | 24 |
| $R_K$ ,Ом | 40 | 8 | 80 | 6 | 6 | 12 | 16 | 16 |

Таблица 4.2

| Параметры | Вариант | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $U_{ВХ}$, В | 60 | 100 | 80 | 40 | 120 | 200 | 220 | 380 |
| $X_C$ ,Ом | 60 | 120 | 60 | 4 | 120 | 240 | 240 | 120 |
| $X_L$ ,Ом | 30 | 60 | 120 | 12 | 40 | 80 | 120 | 240 |
| $R_1$ ,Ом | 30 | 40 | 30 | 2 | 30 | 20 | 60 | 100 |
| $R_2$ ,Ом | 10 | 40 | 50 | 4 | 30 | 100 | 100 | 60 |

Таблица 4.3

| Параметры | Вариант | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $I_m$, А | 5,64 | 0,846 | 42,3 | 1,41 | 0,564 | 0,987 | 5,64 | 4,23 |
| ψ, рад | π /8 | -π /4 | π /8 | -π /8 | -π /5 | π /7 | -π /6 | π /10 |
| $X_{C1}$ ,Ом | 6 | 120 | 0,6 | 4 | 12 | 60 | 24 | 12 |
| $X_{C2}$ ,Ом | 8 | 60 | 1 | 8 | 18 | 30 | 12 | 18 |
| $X_{L1}$ ,Ом | 2 | 60 | 1,2 | 12 | 4 | 40 | 16 | 24 |
| $X_{L2}$ ,Ом | 10 | 80 | 2 | 2 | 24 | 80 | 10 | 4 |

Окончание табл. 4.3

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_1$ ,Ом | 3 | 20 | 0,3 | 2 | 3 | 20 | 6 | 10 |
| $R_2$ ,Ом | 1 | 40 | 0,5 | 4 | 12 | 100 | 10 | 6 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_3$ ,Ом | 2 | 60 | 2 | 12 | 8 | 60 | 160 | 20 |

Таблица 4.4

| Параметры | Вариант | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $U$ , В | 60 | 100 | 80 | 40 | 120 | 200 | 220 | 380 |
| $f$, Гц | 100 | 50 | 200 | 400 | 50 | 100 | 200 | 400 |
| $X_C$ ,Ом | 60 | 12 | 60 | 4 | 12 | 24 | 24 | 12 |
| $X_L$ ,Ом | 30 | 6 | 120 | 12 | 4 | 8 | 12 | 24 |
| $R$ ,Ом | 40 | 8 | 80 | 6 | 6 | 12 | 16 | 16 |