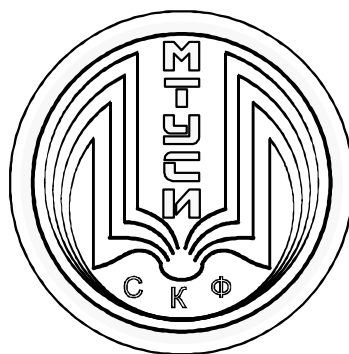


**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФИЛИАЛ  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И  
ИНФОРМАТИКИ»**



**КАФЕДРА ОБЩЕНАУЧНОЙ ПОДГОТОВКИ**

**Бородин А.В.**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

**Методическое пособие**

**по проведению практических занятий**

направление подготовки 09.03.01  
Информатика и вычислительная техника

**Ростов-на-Дону**

**2019 г.**

**Бородин А.В.** «Электротехника». Методическое пособие по проведению практических занятий (направление подготовки 09.03.01 - Информатика и вычислительная техника); Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский филиал МТУСИ. 2019. – 19 с.

**Составитель:** доцент кафедры ОНП Бородин А.В.

**Рецензент:** Зав. кафедрой ИВТ СКФ МТУСИ, д.т.н. проф. Соколов С.В.

Издание рассмотрено и утверждено  
на заседании кафедры ОНП  
26.08.2019 года (протокол № 1)

Дисциплина «Электротехника» изучается студентами направления 09.03.01 Информатика и вычислительная техника.

Целью освоения учебной дисциплины «Электротехника» является изучение основных понятий и законов теории электрических цепей, методов анализа линейных и нелинейных цепей в переходном и установившемся режимах, принципов действия и характеристик компонентов и узлов электронной аппаратуры, методов их расчета.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

### Применение законов Кирхгофа в электрической цепи

(метод непосредственного применения законов Кирхгофа)

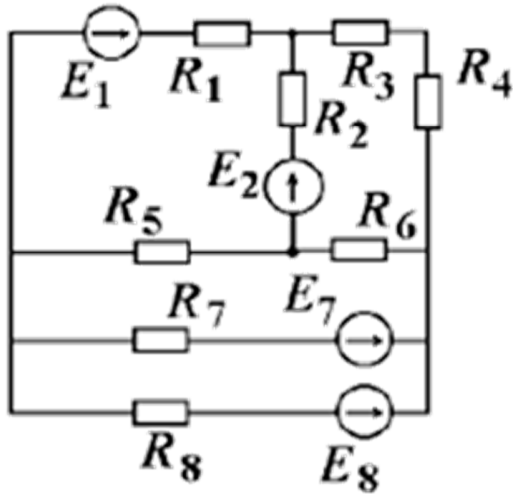
#### **Дано**

$R_1=16 \text{ Ом};$   
 $R_2=31 \text{ Ом};$   
 $R_3=24 \text{ Ом};$   
 $R_4=13 \text{ Ом};$   
 $R_5=33 \text{ Ом};$   
 $R_6=40 \text{ Ом};$   
 $R_7=22 \text{ Ом};$   
 $R_8=7 \text{ Ом};$   
 $E_1=30 \text{ В};$   
 $E_2=24 \text{ В};$   
 $E_7=16 \text{ В};$   
 $E_8=11 \text{ В}.$

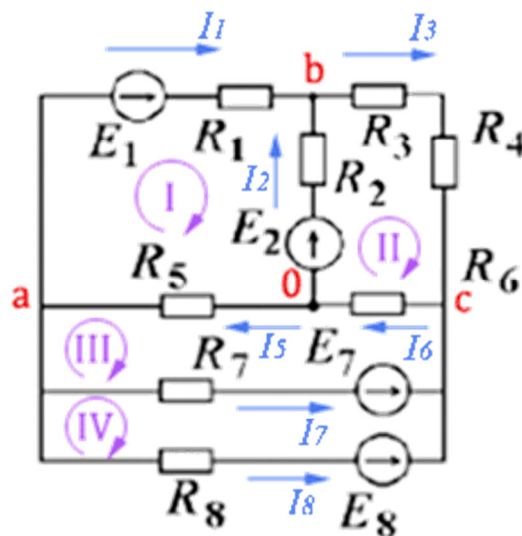
#### **Найти**

Токи в цепи непосредственным применением **законов Кирхгофа**.

### Решение



Составляем уравнения по законам Кирхгофа. **Первый закон Кирхгофа** говорит о том, что сумма втекающих и вытекающих токов в любом узле схемы равна нулю. **Второй закон Кирхгофа** гласит, что алгебраическая сумма падений напряжений по замкнутому контуру равна сумме ЭДС в этом контуре. В приведенной схеме  $m=7$  ветвей и  $n=4$  узла. Следовательно, по первому закону Кирхгофа должно быть составлено  $n-1=3$  уравнения, а по второму закону Кирхгофа  $m-(n-1)=4$  уравнения. Размечаем произвольно выбранные направления токов, контуры обходов, узлы схемы.



$$\begin{cases} I_6 = I_5 + I_2 \text{ (первый закон Кирхгофа для узла "0")} \\ I_5 = I_1 + I_7 + I_8 \text{ (первый закон Кирхгофа для узла а)} \\ I_1 + I_2 = I_3 \text{ (первый закон Кирхгофа для узла "b")} \\ E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_5 R_5 \text{ (второй закон Кирхгофа для контура I)} \\ E_2 = I_2 R_2 + I_3 (R_3 + R_4) + I_6 R_6 \text{ (второй закон Кирхгофа для контура II)} \\ -E_7 = -I_7 R_7 - I_5 R_5 - I_6 R_6 \text{ (второй закон Кирхгофа для контура III)} \\ E_7 - E_8 = I_7 R_7 - I_8 R_8 \text{ (второй закон Кирхгофа для контура IV)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_6 = I_5 + I_2 \\ I_5 = I_1 + I_7 + I_8 \\ I_1 + I_2 = I_3 \\ 30 - 24 = 16I_1 - 31I_2 + 33I_5 \\ 24 = 31I_2 + (24 + 13)I_3 + 40I_6 \\ -16 = -22I_7 - 33I_5 - 40I_6 \\ 16 - 11 = 22I_7 - 7I_8 \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_6 = I_5 + I_2 \\ I_5 = I_1 + I_7 + I_8 \\ I_1 + I_2 = I_3 \\ 6 = 16I_1 - 31I_2 + 33I_5 \\ 24 = 31I_2 + 37I_3 + 40I_6 \\ -16 = -22I_7 - 33I_5 - 40I_6 \\ 5 = 22I_7 - 7I_8 \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_2 + I_5 + I_6 = 0 \\ I_1 + I_5 + I_7 + I_8 = 0 \\ I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ 16I_1 - 31I_2 + 33I_5 = 6 \\ 31I_2 + 37I_3 + 40I_6 = 24 \\ 33I_5 + 40I_6 + 22I_7 = 16 \\ 22I_7 - 7I_8 = 5 \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 16 & -31 & 0 & 33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 31 & 37 & 0 & 40 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 33 & 40 & 22 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 22 & -7 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \\ I_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 6 \\ 24 \\ 16 \\ 5 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \\ I_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 16 & -31 & 0 & 33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 31 & 37 & 0 & 40 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 33 & 40 & 22 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 22 & -7 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 6 \\ 24 \\ 16 \\ 5 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \\ I_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,265 \\ 0,083 \\ 0,347 \\ 0,131 \\ 0,214 \\ 0,140 \\ -0,273 \end{pmatrix}$$

**Ответ:**

$I_1=0,265$  A;  $I_2=0,082$  A;  $I_3=0,347$  A;  $I_5=0,131$  A;  $I_6=0,214$  A;  $I_7=0,140$  A;  
 $I_8=-0,273$  A.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

### Метод контурных токов (МКТ)

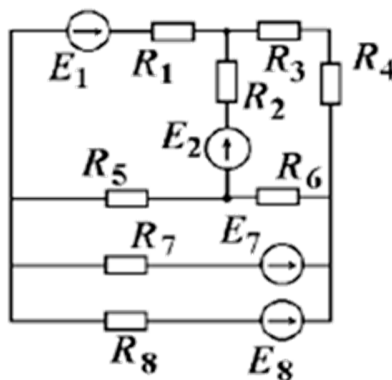
#### Дано

$R_1 = 16 \text{ Ом};$   
 $R_2 = 31 \text{ Ом};$   
 $R_3 = 24 \text{ Ом};$   
 $R_4 = 13 \text{ Ом};$   
 $R_5 = 33 \text{ Ом};$   
 $R_6 = 40 \text{ Ом};$   
 $R_7 = 22 \text{ Ом};$   
 $R_8 = 7 \text{ Ом};$   
 $E_1 = 30 \text{ В};$   
 $E_2 = 24 \text{ В};$   
 $E_7 = 16 \text{ В};$   
 $E_8 = 11 \text{ В}.$

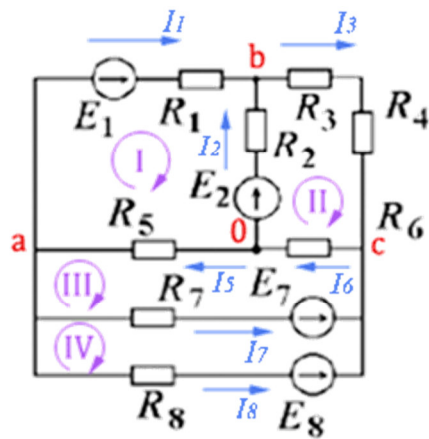
#### Найти

Токи в цепи **методом контурных токов**.

#### Решение



Размечаем произвольно выбранные направления токов, контуры обходов, узлы схемы.



Составим матричное уравнение контурных токов.

$(\mathbf{Z})(\mathbf{I}) = (\mathbf{U})$ , где

$(\mathbf{Z})$  — матрица контурных сопротивлений;

$(\mathbf{I})$  — матрица неизвестных контурных токов;

$(\mathbf{U})$  — матрица ЭДС контуров.



$$(Z) = \begin{pmatrix} R_1 + R_2 + R_5 & -R_2 & -R_5 & 0 \\ -R_2 & R_2 + R_3 + R_4 + R_6 & -R_6 & 0 \\ -R_5 & -R_6 & R_5 + R_6 + R_7 & -R_7 \\ 0 & 0 & -R_7 & R_7 + R_8 \end{pmatrix}$$

$$(Z) = \begin{pmatrix} 16 + 31 + 33 & -31 & -33 & 0 \\ -31 & 31 + 24 + 13 + 40 & -40 & 0 \\ -R_5 & -40 & 33 + 40 + 22 & -22 \\ 0 & 0 & -22 & 22 + 7 \end{pmatrix}$$

$$(Z) = \begin{pmatrix} 80 & -31 & -33 & 0 \\ -31 & 108 & -40 & 0 \\ -33 & -40 & 95 & -22 \\ 0 & 0 & -22 & 29 \end{pmatrix}$$

$$(I) = \begin{pmatrix} I_I \\ I_{II} \\ I_{III} \\ I_{IV} \end{pmatrix}$$

$$(U) = \begin{pmatrix} E_1 - E_2 \\ E_2 \\ -E_7 \\ E_7 - E_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 30 - 24 \\ 24 \\ -16 \\ 16 - 11 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 \\ 24 \\ -16 \\ 5 \end{pmatrix}$$

$$(I) = (Z)^{-1}(U) = \begin{pmatrix} 80 & -31 & -33 & 0 \\ -31 & 108 & -40 & 0 \\ -33 & -40 & 95 & -22 \\ 0 & 0 & -22 & 29 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 6 \\ 24 \\ -16 \\ 5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,265 \\ 0,347 \\ 0,133 \\ 0,273 \end{pmatrix}$$

$$I_I = 0,265 \text{ A};$$

$$I_{II} = 0,347 \text{ A};$$

$$I_{III} = 0,133 \text{ A};$$

$$I_{IV} = 0,273 \text{ A}.$$

Определив все **контурные токи**, выразим через них токи в ветвях:

$$I_1 = I_I = 0,265 \text{ A};$$

$$I_2 = I_{II} - I_I = 0,347 - 0,265 = 0,082 \text{ A};$$

$$I_3 = I_{II} = 0,347 \text{ A};$$

$$I_5 = I_I - I_{III} = 0,265 - 0,133 = 0,132 \text{ A};$$

$$I_6 = I_{II} - I_{III} = 0,347 - 0,133 = 0,214 \text{ A};$$

$$I_7 = I_{IV} - I_{III} = 0,273 - 0,133 = 0,140 \text{ A};$$

$$I_8 = -I_{IV} = -0,273 \text{ A}.$$

Найденные токи совпадают с токами, вычисленными с использованием законов Кирхгофа, что подтверждает правильность решения.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

### Метод узловых напряжений (Метод узловых потенциалов (МУП))

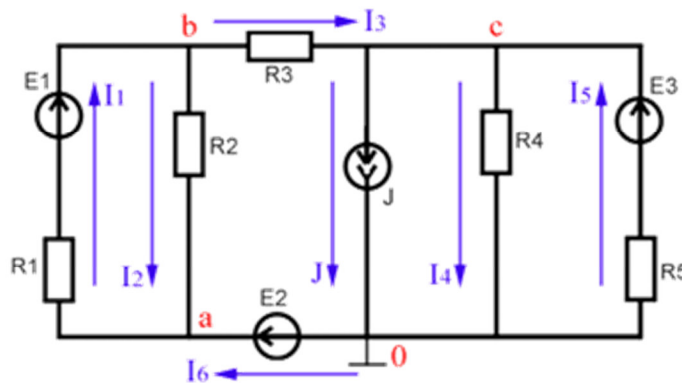
#### Дано

$E_1=9\text{ В};$   
 $E_2=13\text{ В};$   
 $E_3=15\text{ В};$   
 $J=1,4\text{ А};$   
 $R_1=12\text{ Ом};$   
 $R_2=16\text{ Ом};$   
 $R_3=9\text{ Ом};$   
 $R_4=5\text{ Ом};$   
 $R_5=10\text{ Ом}$

#### Найти

Токи в ветвях **методом узловых потенциалов (узловых напряжений)**:

#### Решение



Составим матричное уравнение узловых потенциалов.

$(Y)(U)=(I)$ , где:

$(Y)$  — матрица проводимостей ветвей;

$(U)$  — матрица неизвестных потенциалов;

$(I)$  — матрица втекающих или вытекающих из узлов токов.

Заметим, что известной матрицей является матрица токов, поэтому источники ЭДС включенные последовательно с резисторами необходимо заменить источниками тока номиналом  $E/R$ , соединенными с резисторами параллельно. Потенциал точки а можно записать сразу  $U_a=E_2=13\text{ В}$ :

$$(Y) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) & \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} & -\frac{1}{R_3} \\ 0 & -\frac{1}{R_3} & \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \end{pmatrix}$$

$$(U) = \begin{pmatrix} E_2 \\ U_b \\ U_c \end{pmatrix}$$

$$(I) = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{E_1}{R_1} \\ \frac{E_3}{R_5} - J \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) & \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} & -\frac{1}{R_3} \\ 0 & -\frac{1}{R_3} & \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_2 \\ U_b \\ U_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{E_1}{R_1} \\ \frac{E_3}{R_5} - J \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -\left(\frac{1}{12} + \frac{1}{16}\right) & \frac{1}{12} + \frac{1}{16} + \frac{1}{9} & -\frac{1}{9} \\ 0 & -\frac{1}{9} & \frac{1}{9} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 13 \\ U_b \\ U_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{9}{12} \\ \frac{15}{10} - 1,4 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -0,146 & 0,257 & -0,111 \\ 0 & -0,111 & 0,411 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 13 \\ U_b \\ U_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,75 \\ 0,1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} -0,146 \cdot 13 + 0,257U_b - 0,111U_c = 0,75 \\ -0,111U_b + 0,411U_c = 0,1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -1,898 + 0,257U_b - 0,111U_c = 0,75 \\ U_b = 3,703U_c - 0,901 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,257(3,703U_c - 0,901) - 0,111U_c = 2,648 \\ U_b = 3,703U_c - 0,901 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,841U_c = 2,88 \\ U_b = 3,703U_c - 0,901 \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_c = 3,424 \text{ B} \\ U_b = 11,78 \text{ B} \end{cases}$$

Зная потенциалы узлов, используем закон Ома и найдем токи в ветвях:

$$I_1 = \frac{U_a - (U_b - E_1)}{R_1} = \frac{13 - (11,78 - 9)}{12} = 0,852 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U_b - U_a}{R_2} = \frac{11,78 - 13}{16} = -0,076 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_b - U_c}{R_3} = \frac{11,78 - 3,42}{9} = 0,929 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{U_c}{R_4} = \frac{3,42}{5} = 0,684 \text{ A}$$

$$I_5 = \frac{-(U_c - E_3)}{R_5} = \frac{-(3,42 - 15)}{10} = 1,158 \text{ A}$$

Для шестой ветви можно записать первый закон Кирхгофа:

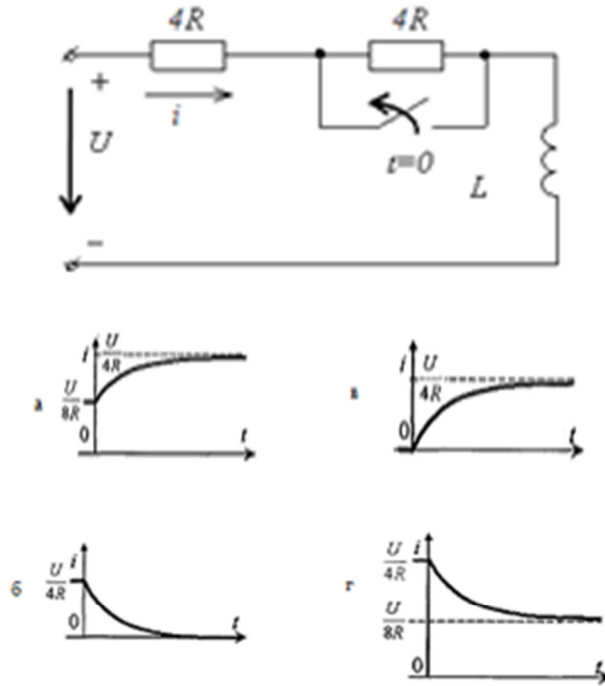
$$I_6 = J + I_4 - I_5 = 1,4 + 0,684 - 1,158 = 0,926 \text{ A}$$

**Ответ:**  $I_1=0,852 \text{ A}$ ;  $I_2=-0,076 \text{ A}$ ;  $I_3=0,929 \text{ A}$ ;  $I_4=0,684 \text{ A}$ ;  $I_5=1,158 \text{ A}$ ;  $I_6=0,926 \text{ A}$ .

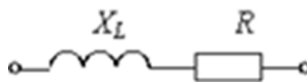
## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

### Установившийся синусоидальный режим в RL -цепях

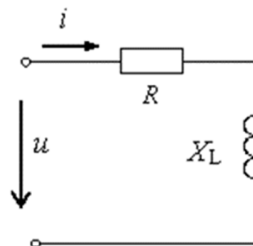
1. По какому закону изменяется ток  $i$  в цепи после коммутации:



2. Определите полное сопротивление  $Z$ , если индуктивное сопротивление приведенной цепи  $X_L = 30$  Ом и угол сдвига фаз между приложенным напряжением и током  $\phi = 37^\circ$ .



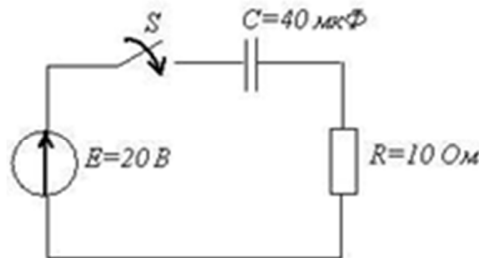
3. Определите угол сдвига фаз между приложенным напряжением и током, если  $R = 6$  Ом и  $X_L = 8$  Ом.



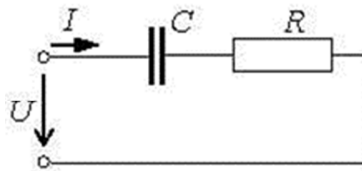
## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

### Установившийся синусоидальный режим в RC -цепях

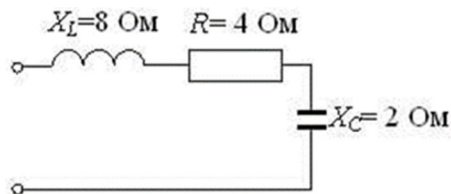
1. Определить установившееся значение тока в цепи после коммутации:



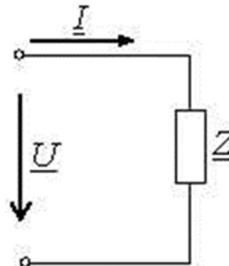
2. Как с увеличением частоты  $f$  при неизменном действующем значении приложенного напряжения  $U$  изменяется действующее значение тока  $I$  ?



3. Определите реактивное сопротивление цепи  $X$  при уменьшении в 2 раза частоты.



4. Определите комплексное действующее значение тока действующее значение тока, если напряжение  $\underline{U} = 100 \text{ В}$ , а полное сопротивление цепи  $\underline{Z} = 100e^{-j53^\circ} \text{ Ом}$ .



## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

### Векторные диаграммы для RLC-цепей

#### Трёхфазные цепи

**Дано**

$$\underline{U}_A = 100 \text{ В};$$

$$\underline{U}_B = 100 \cdot e^{-j90^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_C = 150 \cdot e^{j135^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{Z}_B = 8 - j6 \text{ Ом};$$

**Найти**

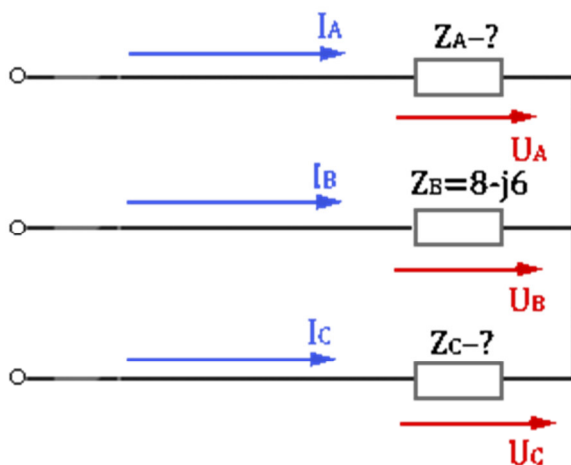
$\underline{Z}_A, \underline{Z}_C$  (при условии симметричности токов) — ?

$U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  — ?

Построить топографическую диаграмму напряжений — ?

Построить векторную диаграмму токов — ?

**Решение**



Запишем сопротивление фазы В в показательной форме:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_B = 8 - j6 &= \sqrt{[Re(\underline{Z}_B)]^2 + [Im(\underline{Z}_B)]^2} e^{j \cdot \arctg\left(\frac{Im(\underline{Z}_B)}{Re(\underline{Z}_B)}\right)} = \sqrt{8^2 + (-6)^2} \cdot e^{j \cdot \arctg\left(\frac{Im(\underline{Z}_B)}{Re(\underline{Z}_B)}\right)} = \\ &= 10 \cdot e^{j \cdot 37^\circ} \text{ Ом} \end{aligned}$$

Находим ток в фазе В:

$$\underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_B} = \frac{100 \cdot e^{-j90^\circ}}{10 \cdot e^{j37^\circ}} = 10 \cdot e^{-j127^\circ} \text{ A.}$$

Из условия симметрии токов следует, что токи в фазах А и С совпадают по модулю с током в фазе В и отличаются от него фазой на  $120^\circ$ :

$$\underline{I}_A = \underline{I}_B \cdot e^{j120^\circ} = 10 \cdot e^{-j7^\circ} \text{ A;}$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_B \cdot e^{-j120^\circ} = 10 \cdot e^{-j247^\circ} = 10 \cdot e^{j113^\circ} \text{ A.}$$

Зная токи и напряжения в фазах, находим сопротивления фаз:

$$\underline{Z}_A = \frac{\underline{U}_A}{\underline{I}_A} = \frac{100}{10 \cdot e^{-j7^\circ}} = 10 \cdot e^{j7^\circ} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_C = \frac{\underline{U}_C}{\underline{I}_C} = \frac{150 \cdot e^{j135^\circ}}{10 \cdot e^{j113^\circ}} = 15 \cdot e^{j22^\circ} \text{ Ом;}$$

Запишем фазные напряжения системы в алгебраической форме:

$$\underline{U}_A = 100 \text{ В;}$$

$$\underline{U}_B = 100 \cdot e^{-j90^\circ} = 100 \cdot (\cos(-90^\circ) + j \cdot \sin(-90^\circ)) = -j100 \text{ В;}$$

$$\underline{U}_C = 150 \cdot e^{j135^\circ} = 150 \cdot (\cos(135^\circ) + j \cdot \sin(135^\circ)) = -106,1 + j106,1 \text{ В;}$$

Линейные напряжения системы:

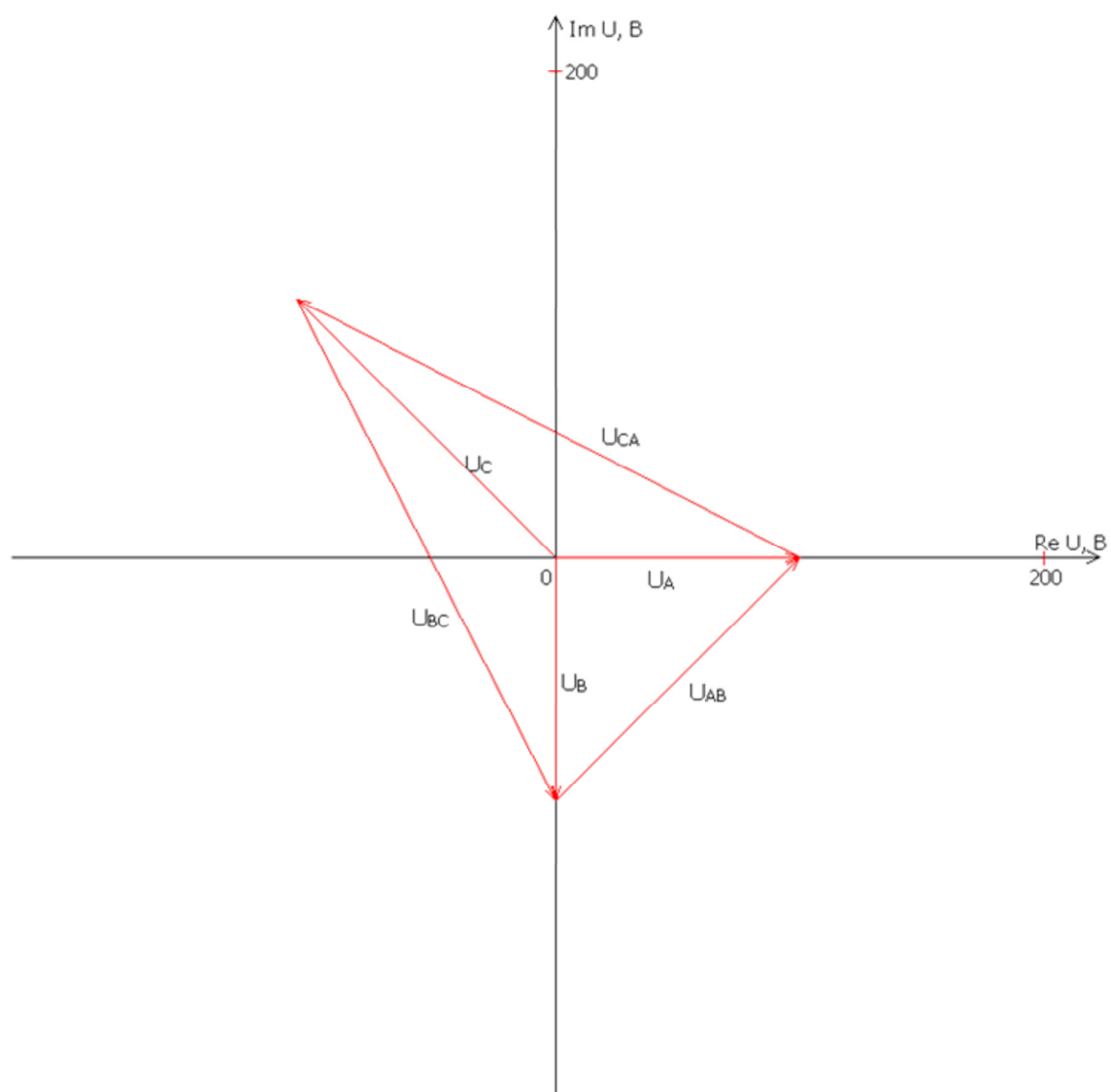
$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B = 100 + j100 \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C = -j100 + 106,1 - j106,1 = 106,1 - j206,1 \text{ В;}$$

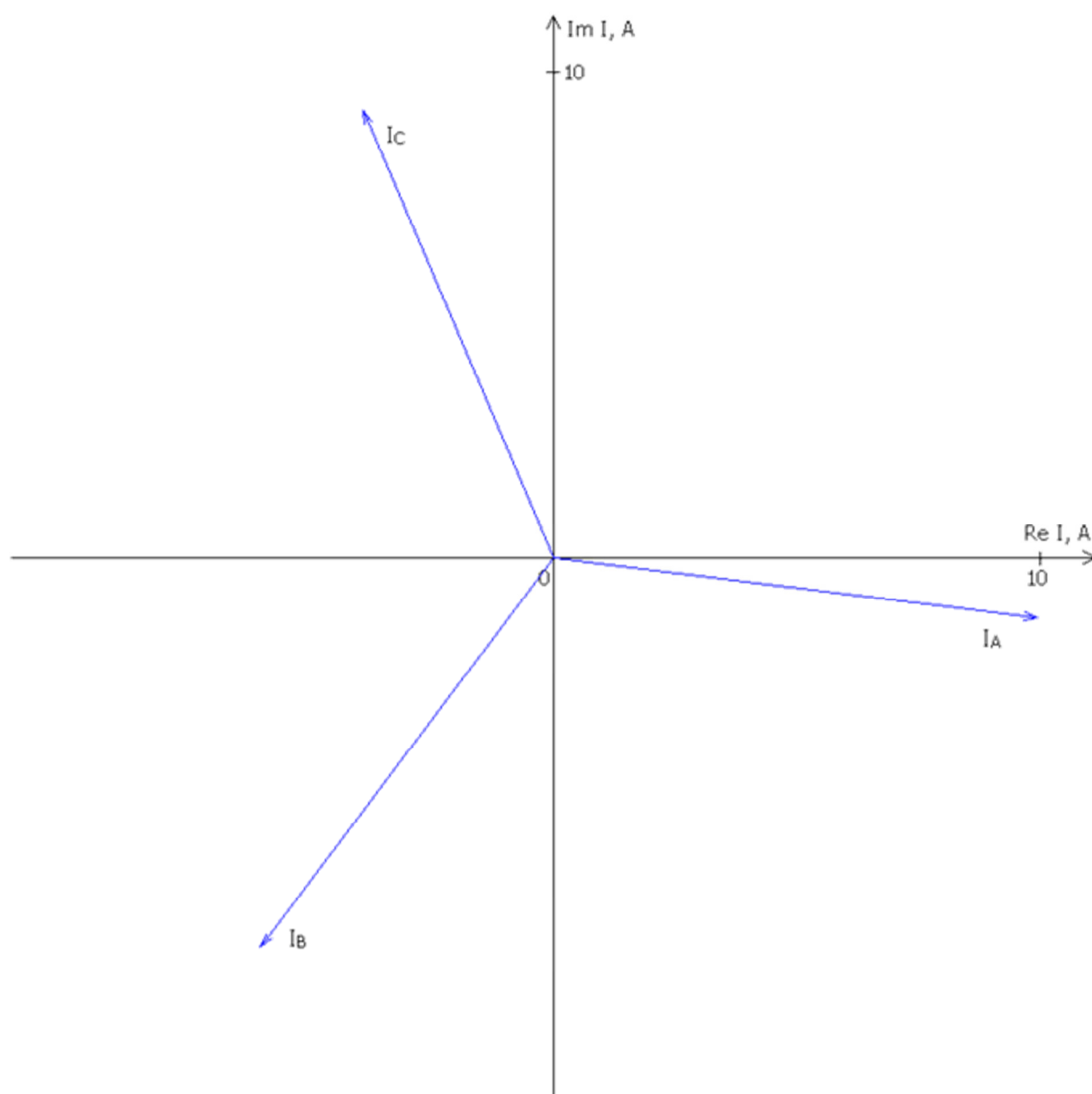
$$\underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A = -106,1 + j106,1 - 100 = -206,1 + j106,1 \text{ В.}$$



Топографическая диаграмма напряжений:



Векторная диаграмма токов:



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. Москва: Горячая линия - Телеком, 2014 <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=465730>
2. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И. Основы теории цепей. Учебное пособие. Москва: Горячая линия - Телеком, 2013 <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=411569>
3. Каблукова М.В. Теория электрических цепей: Конспект лекций. – М.: Информсвязьиздат, 2000.
4. Кардашев Г.А. Цифровая электроника на персональном компьютере. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.