

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
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 10.03.01
Информационная безопасность

Ростов-на-Дону

2022 г.

Бородин А.В. «Электротехника». Методическое пособие по проведению практических занятий (направление подготовки 10.03.01 - Информационная безопасность); Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский филиал МТУСИ. 2022. – 26 с.

Составитель: доцент кафедры ОНП Бородин А.В.

Издание рассмотрено и утверждено
на заседании кафедры ОНП
29.08.2022 года (протокол № 1)

Дисциплина «Электротехника» изучается студентами направления 10.03.01 Информационная безопасность.

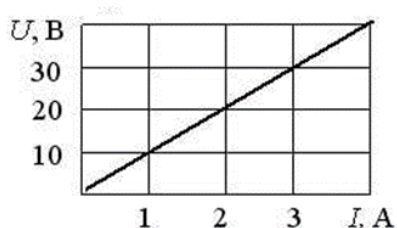
Целью освоения учебной дисциплины «Электротехника» является изучение основных понятий и законов теории электрических цепей, методов анализа линейных и нелинейных цепей в переходном и установившемся режимах, принципов действия и характеристик компонентов и узлов электронной аппаратуры, методов их расчета.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

Пассивные и активные элементы. Основные понятия топологии схем. Соединение элементов.

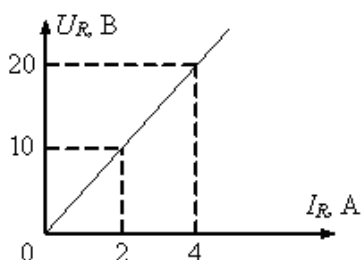
Задача 1.1

По заданной вольт-амперной характеристике приёмника определите напряжение на нём при токе 5 А.



Задача 1.2

По заданной вольт-амперной характеристике резистора определите его сопротивление



Задача 1.3

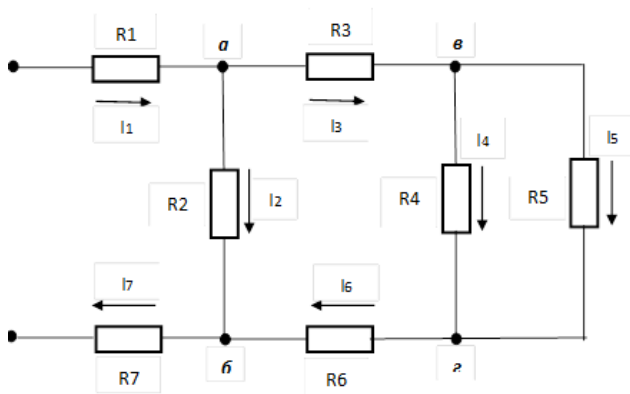
Как изменится ток I при переходе от схемы a к схеме b ?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

Применение законов Кирхгофа и Ома в электрических цепях

Задача 2.1

Задана схема



Дано:

$$I_4 = 0,37 \text{ A} \quad R_4 = 1,85 \text{ Ом}$$

$$R_1 = 4,03 \text{ Ом} \quad R_5 = 2,75 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3,78 \text{ Ом} \quad R_6 = 3,10 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 5,20 \text{ Ом} \quad R_7 = 4,59 \text{ Ом}$$

Требуется:

1. Определить токи в остальных ветвях и входное напряжение.
2. Используя найденные значения входного тока и входного напряжения, рассчитать входное сопротивление.
3. Рассчитать входное сопротивление, используя эквивалентные преобразования схемы; сравнить с результатом, полученным в пункте 2.

Решение.

Зная ток I_4 , можно найти напряжение $U_4 = I_4 \cdot R_4$,

$$U_4 = 0,37 \text{ A} \cdot 1,85 \text{ Ом} = 0,68 \text{ В.}$$

$U_5 = U_4$, так как сопротивления R_4 и R_5 включены параллельно.

$$I_5 = \frac{U_5}{R_5}; \quad I_5 = \frac{0,68}{2,75} = 0,25 \text{ A}$$

$I_3 = I_4 + I_5$ (по первому закону Кирхгофа для узла **б**),

$$I_3 = 0,37 + 0,25 = 0,62 \text{ A.}$$

$$U_3 = I_3 \cdot R_3, \quad U_3 = 0,62 \text{ A} \cdot 5,2 \text{ Ом} = 3,22 \text{ В}$$

$$U_6 = I_3 \cdot R_6, \quad U_6 = 0,62 \text{ A} \cdot 3,1 \text{ Ом} = 1,92 \text{ В}$$

$$U_{ab} = U_3 + U_4 + U_6; \quad U_{ab} = 3,22 + 0,68 + 1,92 = 5,82 \text{ В.}$$

$$U_2 = U_{ab}, \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2}; \quad I_2 = \frac{5,82}{3,78} = 1,54 \text{ А.}$$

$$I_1 = I_2 + I_3 \text{ (по первому закону Кирхгофа для узла } a),$$

$$I_1 = 1,54 + 0,62 = 2,16 \text{ А.}$$

$$\text{можно найти напряжение } U_1 = I_1 \cdot R_1, \quad U_1 = 2,16 \text{ А} \cdot 4,03 \text{ Ом} = 8,7 \text{ В}$$

$$\text{и напряжение } U_7 = I_1 \cdot R_7, \quad U_7 = 2,16 \text{ А} \cdot 4,59 \text{ Ом} = 9,91 \text{ В.}$$

$$U_{bx} = U_1 + U_{ab} + U_7$$

$$U_{bx} = 8,7 + 5,82 + 9,91 = 24,43 \text{ В.}$$

$$R_{bx} = \frac{U_{bx}}{I_1} \quad R_{bx} = \frac{24,43 \text{ В}}{2,16 \text{ А}} = 11,31 \text{ Ом} - \text{входное сопротивление.}$$

Можно найти общее сопротивление: сопротивления R_4 и R_5 включены параллельно, рассчитаем эквивалентное сопротивление:

$$R_{45} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} \quad R_{45} = \frac{1,85 \cdot 2,75}{1,85 + 2,75} = 1,11 \text{ Ом.}$$

Если заменить резисторы R_4 и R_5 одним, то резисторы R_3 , R_{45} и R_6 , будут включены последовательно. Эквивалентное сопротивление равно:

$$R_{3456} = R_3 + R_{45} + R_6$$

$$R_{3456} = 5,2 + 1,11 + 3,1 = 9,41 \text{ Ом.}$$

Резистор R_2 включен параллельно с R_{3456} , эквивалентное сопротивление R_{23456} равно:

$$R_{23456} = \frac{R_2 \cdot R_{3456}}{R_2 + R_{3456}} = \frac{3,78 \cdot 9,41}{3,78 + 9,41} = 2,7 \text{ Ом.}$$

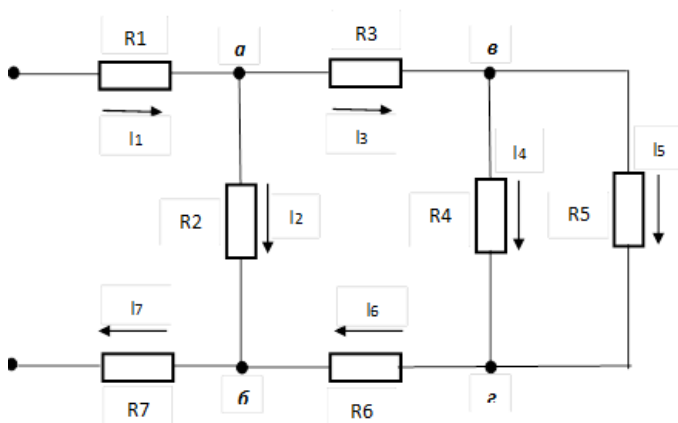
Резисторы R_1 , R_{23456} и R_7 включены последовательно:

$$R_{06} = R_1 + R_{23456} + R_7 = 4,03 + 2,7 + 4,59 = 11,32 \text{ Ом.}$$

$R_{bx} \approx R_{06}$. Входное сопротивление примерно равно общему.

Задача 2.2

Задана схема



Требуется:

1. Определить токи в остальных ветвях и входное напряжение.
2. Используя найденные значения входного тока и входного напряжения, рассчитать входное сопротивление.
3. Рассчитать входное сопротивление, используя эквивалентные преобразования схемы; сравнить с результатом, полученным в пункте 2.

Вариант задания определяется по двум последним цифрам номера студенческого билета: последняя цифра шрифта – N_0 ; предпоследняя – N_1 .

Таблица 1.1

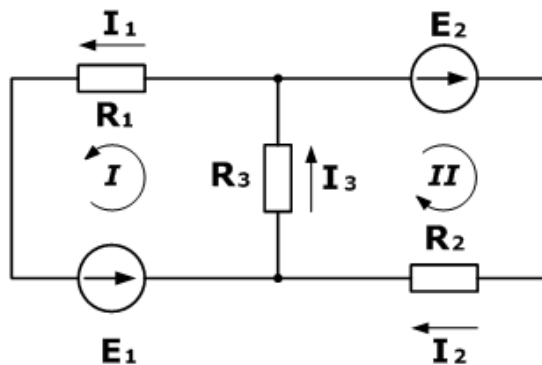
N_1	Сопротивления, (Ом)						
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
0	3,58	1,67	2,29	3,46	1,82	5,10	2,16
1	5,12	4,39	1,74	3,29	2,15	1,56	3,50
2	4,62	5,81	3,79	2,81	1,71	3,42	4,03
3	4,03	3,78	5,20	1,85	2,75	3,10	4,59
4	4,99	4,17	3,52	2,28	1,68	4,17	3,25
5	3,18	1,75	5,63	1,84	2,39	3,40	2,85
6	3,55	2,17	1,75	5,13	4,44	3,45	1,79
7	5,82	2,45	3,20	4,20	1,75	3,75	2,57
8	1,80	3,45	4,32	5,07	1,86	2,28	3,45
9	3,28	1,64	3,50	2,26	3,89	5,19	4,20

Таблица 1.2

N_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ток, (А)	$I_1=1,5$	$I_1=1,3$	$I_2=0,83$	$I_2=0,75$	$I_3=0,65$	$I_3=0,88$	$I_4=0,48$	$I_4=0,37$	$I_5=0,52$	$I_5=0,33$

Задача 2.3

Дана схема, и известны сопротивления резисторов и ЭДС источников. Требуется найти токи в ветвях, используя законы Кирхгофа.



Дано:

$$R_1 = 100 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 150 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 150 \text{ Ом}$$

$$E_1 = 75 \text{ В}$$

$$E_2 = 100 \text{ В}$$

Определить

I_1, I_2, I_3 - ?

Решение

Используя первый закон Кирхгофа, можно записать $n-1$ уравнений для цепи. В нашем случае количество узлов $n=2$, а значит нужно составить только одно уравнение.

Напомним, что по первому закону, сумма токов, сходящихся в узле равна нулю. При этом, условно принято считать входящие токи в узел положительными, а выходящими отрицательными. Значит для нашей задачи

$$I_3 - I_1 - I_2 = 0$$

Затем используя второй закон (сумма падений напряжения в независимом контуре равна сумме ЭДС в нем) составим уравнения для первого и второго контуров цепи. Направления обхода выбраны произвольными, при этом если направление тока через резистор совпадает с направлением обхода, берем со знаком плюс, и наоборот если не совпадает, то со знаком минус. Аналогично с источниками ЭДС.

На примере первого контура – ток I_1 и I_3 совпадают с направлением обхода контура (против часовой стрелки), ЭДС E_1 также совпадает, поэтому берем их со знаком плюс.

Уравнения для первого и второго контуров по второму закону будут:

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 = E_1$$

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2$$

Все эти три уравнения образуют систему

$$\begin{cases} R_1 I_1 + R_3 I_3 = E_1 \\ R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2 \\ I_3 - I_1 - I_2 = 0 \end{cases}$$

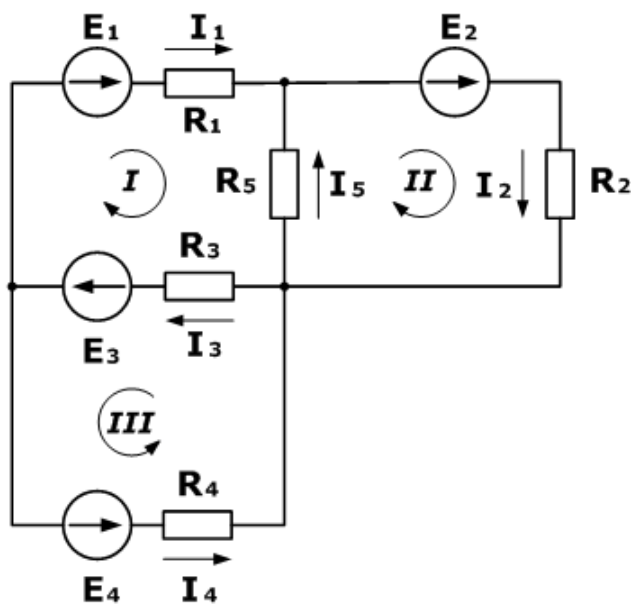
Подставив известные значения и решив данную линейную систему уравнений, найдем токи в ветвях (способ решения может быть любым).

$$\begin{cases} I_1 = 0,143 \\ I_2 = 0,262 \\ I_3 = 0,405 \end{cases}$$

Проверку правильности решения можно осуществить разными способами, но самым надежным является проверка балансом мощностей.

Задача 2.4

Зная сопротивления резисторов и ЭДС трех источников найти ЭДС четвертого и токи в ветвях.



Дано:

$$\begin{aligned} R_1 &= 130 \text{ Ом} & E_1 &= 30 \text{ В} \\ R_2 &= 100 \text{ Ом} & E_2 &= 60 \text{ В} \\ R_3 &= 150 \text{ Ом} & E_3 &= 80 \text{ В} \\ R_4 &= 200 \text{ Ом} \\ R_5 &= 80 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Определить

I_1, I_2, I_3, I_4 - ?
 E_4 - ?

Решение

Как и в предыдущей задаче начнем решение с составления уравнений на основании первого закона Кирхгофа. Количество уравнений $n-1=2$

$$I_3 - I_1 - I_4 = 0$$

$$I_5 + I_1 - I_2 = 0$$

Затем составляем уравнения по второму закону для трех контуров. Учитываем направления обхода, как и в предыдущей задаче.

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 - R_5 I_5 = E_1 + E_3$$

$$R_2 I_2 + R_5 I_5 = E_2$$

$$R_3 I_3 + R_4 I_4 = E_3 + E_4$$

На основании этих уравнений составляем систему с пятью неизвестными

$$\begin{cases} R_1 I_1 + R_3 I_3 - R_5 I_5 = E_1 + E_3 \\ R_2 I_2 + R_5 I_5 = E_2 \\ R_3 I_3 + R_4 I_4 = E_3 + E_4 \\ I_3 - I_1 - I_4 = 0 \\ I_5 + I_1 - I_2 = 0 \end{cases}$$

Решив эту систему любым удобным способом, найдем неизвестные величины

$$\begin{cases} I_1 = 0,229 \\ I_2 = 0,435 \\ I_3 = 0,645 \\ I_4 = 0,416 \\ E_4 = 100 \end{cases}$$

Для этой задачи выполним проверку с помощью баланса мощностей, при этом сумма мощностей, отданная источниками, должна равняться сумме мощностей, полученных приемниками.

$$I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 = E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 + E_4 I_4$$

$$126.2 \approx 126.2 \text{ Вт}$$

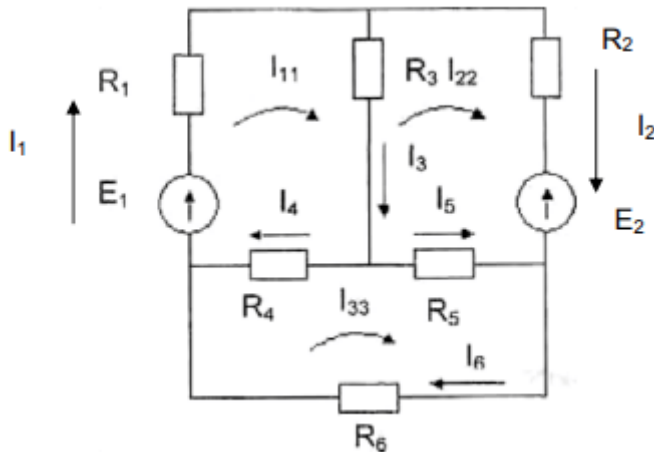
Баланс мощностей сошелся, а значит токи и ЭДС найдены верно.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

Применение метода контурных токов. Применение метода узловых напряжений.

Задача 3.1

Определите токи в ветвях схемы методом контурных токов



Дано:

$R_1 = 1 \text{ Ом}$	$R_6 = 5 \text{ В}$
$R_2 = 2 \text{ Ом}$	$E_1 = 100 \text{ В}$
$R_3 = 3 \text{ Ом}$	$E_2 = 80 \text{ В}$
$R_4 = 5 \text{ Ом}$	
$R_5 = 5 \text{ Ом}$	

В исследуемой цепи – шесть ветвей и три независимых контура (типа ячеек).

Произвольно выбираем направления токов. Уравнения метода контурных токов при трёх неизвестных имеют вид:

$$\begin{cases} R_{11} \cdot I_{11} + R_{12} \cdot I_{22} + R_{13} \cdot I_{33} = E_{11}; \\ R_{21} \cdot I_{11} + R_{22} \cdot I_{22} + R_{23} \cdot I_{33} = E_{22}; \\ R_{31} \cdot I_{11} + R_{32} \cdot I_{22} + R_{33} \cdot I_{33} = E_{33}. \end{cases}$$

Подставляя числовые значения, находим:

1. Собственные сопротивления контуров:

$$\begin{aligned} R_{11} &= R_1 + R_3 + R_4 = 9 \text{ Ом}; \\ R_{22} &= R_3 + R_2 + R_5 = 10 \text{ Ом}; \\ R_{33} &= R_4 + R_5 + R_6 = 15 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

2. Совместные сопротивления контуров:

$$\begin{aligned} R_{12} &= R_{21} = -R_3 = -3 \text{ Ом}; \\ R_{13} &= R_{31} = -R_4 = -5 \text{ Ом}; \\ R_{23} &= R_{32} = -R_5 = -5 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Совместное сопротивление двух контуров входит в уравнение со знаком минус, если направления контурных токов, проходящих по этому сопротивлению, противоположны, и со знаком плюс, если направления этих токов совпадают.

3. Контурные ЭДС:

$$E_{11} = E_1 = 100 \text{ В};$$

$$E_{22} = -E_2 = -80 \text{ В};$$

$$E_{33} = 0.$$

С учетом найденных значений система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} 9I_{11} - 3I_{22} - 5I_{33} = 100; \\ -3I_{11} + 10I_{22} - 5I_{33} = -80; \\ -5I_{11} - 5I_{22} + 15I_{33} = 0. \end{cases}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 9 & -3 & -5 \\ -3 & 10 & -5 \\ -5 & -5 & 15 \end{vmatrix} = (9 \cdot 10 \cdot 15 + (-3) \cdot (-5) \cdot (-5) + (-3) \cdot (-5) \cdot (-5)) -$$

$$- ((-5) \cdot (10) \cdot (-5) + (-3) \cdot (-3) \cdot (15) + (-5) \cdot (-5) \cdot (9)) = 590;$$

$$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} 10 & -5 \\ -5 & 15 \end{vmatrix} = 10 \cdot 15 - (5) \cdot (-5) = 125;$$

$$\Delta_{12} = \begin{vmatrix} -3 & -5 \\ -5 & 15 \end{vmatrix} = (-3) \cdot 15 - (5) \cdot (-5) = -70;$$

$$\Delta_{13} = \begin{vmatrix} -3 & 10 \\ -5 & -5 \end{vmatrix} = (-3) \cdot (-5) - (-5) \cdot 10 = 65;$$

$$\begin{aligned} I_{12} &= \frac{\Delta_{11}}{\Delta} \cdot E_{11} + \frac{\Delta_{12}}{\Delta} \cdot E_{22} + \frac{\Delta_{13}}{\Delta} \cdot E_{12} = \\ &= \frac{125}{590} \cdot 100 + \frac{70}{590} \cdot (-80) + \frac{35}{590} \cdot 0 = 11,6 \text{ А}; \end{aligned}$$

$$\Delta_{21} = \begin{vmatrix} -3 & -5 \\ -5 & 15 \end{vmatrix} = (-3) \cdot 15 - (-5) \cdot (-5) = -70;$$

$$\Delta_{22} = \begin{vmatrix} 9 & -5 \\ -5 & 15 \end{vmatrix} = 9 \cdot 15 - (-5) \cdot (-5) = 110;$$

$$\Delta_{23} = \begin{vmatrix} 9 & -5 \\ -5 & -5 \end{vmatrix} = 9 \cdot (-5) - (-5) \cdot (-5) = -60;$$

$$\begin{aligned}
I_{22} &= \frac{\Delta_{21}}{\Delta} \cdot E_{11} + \frac{\Delta_{22}}{\Delta} \cdot E_{22} + \frac{\Delta_{23}}{\Delta} \cdot E_{33} = \\
&= \frac{70}{590} \cdot 100 + \frac{110}{590} \cdot (-80) + \frac{-60}{590} \cdot 0 = -3,05 \text{ A}; \\
\Delta_{31} &= \begin{vmatrix} 10 & -5 \\ -3 & -5 \end{vmatrix} = (-3) \cdot (-5) - (-5) \cdot 10 = 65; \\
\Delta_{32} &= \begin{vmatrix} 9 & -5 \\ -3 & -5 \end{vmatrix} = 9 \cdot (-5) - (-3) \cdot (-5) = -60; \\
\Delta_{33} &= \begin{vmatrix} 9 & -3 \\ -3 & 10 \end{vmatrix} = 9 \cdot 10 - (-3) \cdot (-3) = 81; \\
I_{33} &= \frac{\Delta_{31} \cdot (-1)^{3+1}}{\Delta} \cdot E_{11} + \frac{\Delta_{32} \cdot (-1)^{3+2}}{\Delta} \cdot E_{22} + \frac{\Delta_{33} \cdot (-1)^{3+3}}{\Delta} \cdot E_{22} = \\
&= \frac{65}{590} \cdot 100 + \frac{60}{590} \cdot (-80) + \frac{81}{590} \cdot 0 = 2,88 \text{ A}.
\end{aligned}$$

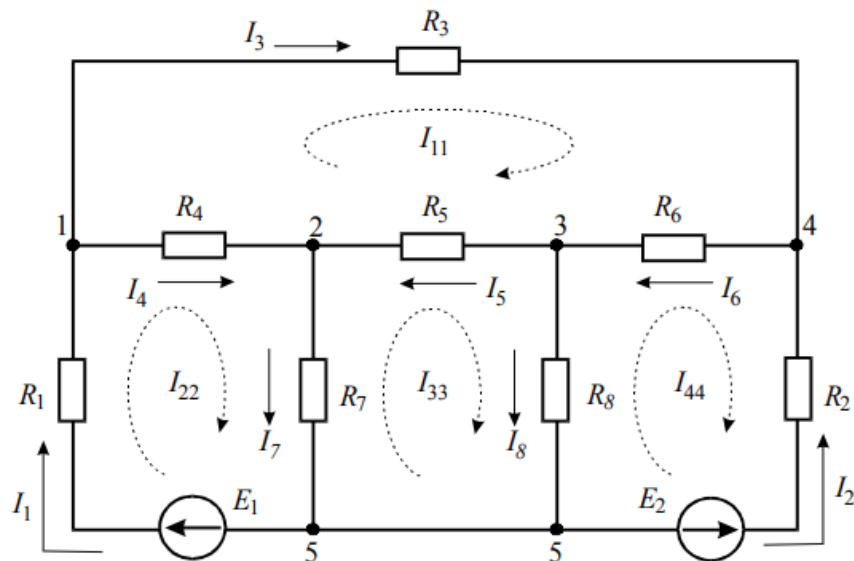
Найденные контурные токи позволяют найти искомые токи в ветвях:

$$\begin{aligned}
I_1 &= I_{11} = 11,6 \text{ A}; \quad I_2 = I_{22} = -3,05 \text{ A}; \\
I_6 &= I_{33} = 2,88 \text{ A}; \\
I_3 &= I_{11} - I_{22} = 11,6 - (-3,05) = 14,65 \text{ A}; \\
I_4 &= I_{11} - I_{33} = 11,6 - 2,88 = 8,72 \text{ A}; \\
I_5 &= I_{33} - I_{22} = 2,88 - (-3,05) = 5,93 \text{ A}.
\end{aligned}$$

Ток I_2 получился отрицательным. Это означает, что его действительное направление в ветви противоположно выбранному.

Задача 3.2

Методом контурных токов определить токи в ветвях схемы



Дано:

$$\begin{aligned}
E_1 &= 145 \text{ В} & R_4 &= 10 \text{ Ом} \\
E_2 &= 140 \text{ В} & R_5 &= 4 \text{ Ом}
\end{aligned}$$

$$R_1=R_2=R_3=1 \text{ Ом} \quad R_7=8 \text{ Ом}$$

$$R_3=0,5 \text{ Ом} \quad R_8=5 \text{ Ом}$$

Решение

Определяем количество уравнений системы:

$$K = B - (V - 1) = 8 - (5 - 1) = 4$$

Выбираем контуры и записываем для каждого уравнения по второму закону Кирхгофа:

$$\begin{array}{l} 1-4-3-2-1 \\ 1-2-5-2 \\ 2-3-5-2 \\ 3-4-5-3 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} I_{11} \cdot (R_3 + R_4 + R_5 + R_6) - I_{22} \cdot R_4 - I_{33} \cdot R_5 - I_{44} \cdot R_6 = 0; \\ -I_{11} \cdot R_4 + I_{22} \cdot (R_1 + R_4 + R_7) - I_{33} \cdot R_7 - I_{44} \cdot 0 = E_1; \\ -I_{11} \cdot R_5 - I_{22} \cdot R_7 + I_{33} \cdot (R_5 + R_7 + R_8) - I_{44} \cdot R_8 = 0; \\ -I_{11} \cdot R_6 - I_{22} \cdot 0 - I_{33} \cdot R_8 + I_{44} \cdot (R_2 + R_6 + R_8) = -E_2 \end{array} \right.$$

Решив систему одним из численных методов, получим значения контурных токов:

$$I_{11}=10 \text{ A}; I_{22}=15 \text{ A}; I_{33}=5 \text{ A}; I_{44}=-15 \text{ A}.$$

Затем выражаем токи ветвей из контурных токов:

$$\begin{array}{llll} I_1=I_{22}=15 \text{ A}; & I_3=I_{11}=10 \text{ A}; & I_5=I_{11}-I_{33}=5 \text{ A}; & I_7=I_{22}-I_{33}=10 \text{ A}; \\ I_2=-I_{44}=15 \text{ A}; & I_4=I_{22}-I_{11}=5 \text{ A}; & I_6=I_{11}-I_{44}=25 \text{ A}; & I_8=I_{33}-I_{44}=20 \text{ A}. \end{array}$$

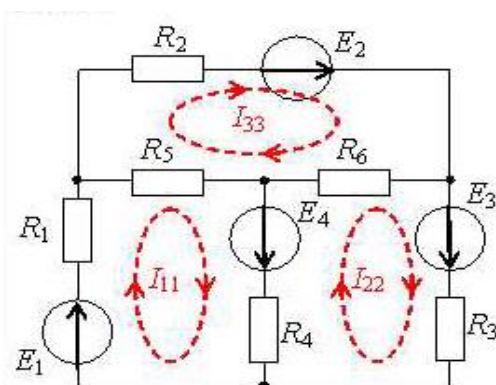
Проверяем баланс мощностей:

$$P_{\text{ист}} = E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 = 145 \cdot 15 + 140 \cdot 15 = 4275 \text{ Вт};$$

$$P_{\text{номр}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6 + I_7^2 R_7 + I_8^2 R_8 = 4275 \text{ Вт}.$$

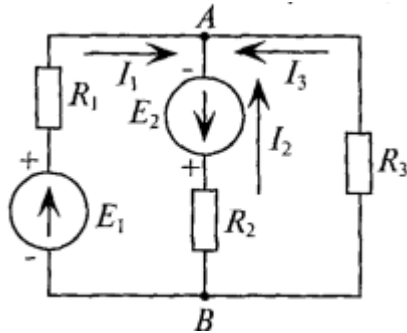
Задача 3.3

Для каждого неперекрывающегося контура составьте уравнение по методу контурных токов.



Задача 3.4

Расчет сложных разветвленных электрических цепей с несколькими источниками и двумя узлами, можно осуществить методом узлового напряжения.



Напряжение между узлами называется узловым U_{AB} – узловое напряжение цепи. Для различных ветвей это узловое напряжение можно определить следующим образом.

1. Поскольку для первой ветви источник работает в режиме генератор

$$U_{AB} = E_1 - I_1(R_1 + R_{01}).$$

Величина тока определяется как

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{R_1 + R_{01}} = (E_1 - U_{AB}) g_1,$$

где g_1 - проводимость 1-й ветви.

$$g_1 = \frac{1}{R_1 + R_{01}}$$

2. Для второй ветви источник работает в режиме потребителя, следовательно,

$$U_{AB} = -U_{BA} = -[E_2 + I_2(R_2 + R_{02})].$$

$$I_2 = \frac{E_2 + U_{AB}}{R_2 + R_{02}} = -(E_2 + U_{AB}) g_2.$$

3. Для третьей ветви

$$U_{AB} = -U_{BA} = -I_3 R_3.$$

(Потенциал точки В для третьей ветви больше, чем потенции, точки А, так как ток направлен из точки с большим потенциалов в точку с меньшим потенциалом.)

Величину тока I_3 можно определить по закону Ома

$$I_3 = -\frac{U_{AB}}{R_3} = -U_{AB} g_3.$$

По первому закону Кирхгофа для узловой точки А (или В):

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0.$$

Подставив в это уравнение значения токов, можно записать

$$E_1 g_1 - U_{AB} g_1 - E_2 g_2 - U_{AB} g_2 - U_{AB} g_3 = 0.$$

Решив это уравнение относительно узлового напряжения U_{AB} , можно определить его значение

$$U_{AB} = \frac{E_1 g_1 - E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3}.$$

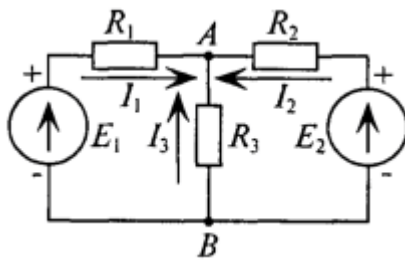
Следовательно, величина узлового напряжения определяется отношением алгебраической суммы произведений ЭДС и проводимости ветвей с источниками к сумме проводимостей всех ветвей.

Для определения знака алгебраической суммы направление токов во всех ветвях выбирают одинаковым, т. е. от одного узла к другому. Тогда ЭДС источника, работающего в режиме генератора, берется со знаком «плюс», а источника, работающего в режиме потребителя, со знаком «минус».

Таким образом, для определения токов в сложной цепи с двумя узлами вычисляется сначала узловое напряжение, а затем значения токов.

Узловое напряжение U_{AB} может получиться положительным или отрицательным, как и ток в любой ветви. Знак «минус» в вычисленном значении тока указывает, что реальное направление тока в данной ветви противоположно условно выбранному.

Задача 3.5



В ветвях схемы требуется определить токи, если:

$E_1 = 35 \text{ В}$; $E_2 = 70 \text{ В}$; $R_1 = 1,7 \text{ Ом}$; $R_{01} = 0,3 \text{ Ом}$; $R_2 = 0,9 \text{ Ом}$; $R_{02} = 0,1 \text{ Ом}$; $R_3 = 4 \text{ Ом}$.

Решение.

Узловое напряжение U_{AB}

$$U_{AB} = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3},$$

$$g_1 = \frac{1}{R_1 + R_{01}} = \frac{1}{1,7 + 0,3} = 0,5 \text{ См};$$

$$g_2 = \frac{1}{R_2 + R_{02}} = \frac{1}{0,9 + 0,1} = 1 \text{ См}; \quad g_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ См};$$

$$U_{AB} = \frac{35 \cdot 0,5 + 70 \cdot 1}{0,5 + 1 + 0,25} = 50 \text{ В}$$

Токи в ветвях будут соответственно равны:

$$I_1 = (E_1 - U_{AB})g_1 = (35 - 50) \cdot 0,5 = -7,5 \text{ А};$$

$$I_2 = (E_2 - U_{AB})g_2 = (70 - 50) \cdot 1 = 20 \text{ А};$$

$$I_3 = -U_{AB}g_3 = -50 \cdot 0,25 = -12,5 \text{ А}.$$

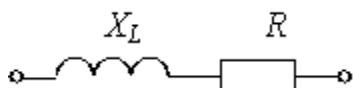
Как видно из полученных результатов, направление токов I_1 и I_2 противоположно выбранному. Следовательно, источник работает в режиме потребителя.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

Установившийся синусоидальный режим в RL-цепях

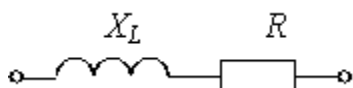
Задача 4.1

Определите полное сопротивление Z при $X_L = 120$ Ом и $R = 160$ Ом.



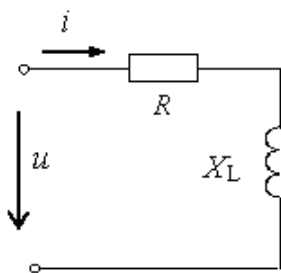
Задача 4.2

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



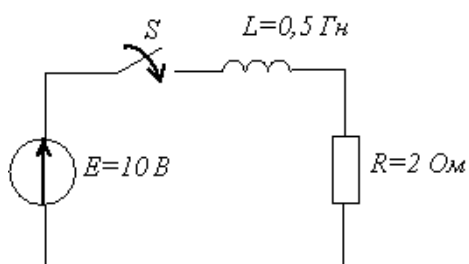
Задача 4.3

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



Задача 4.4

Определите установившееся значение тока после замыкания выключателя.

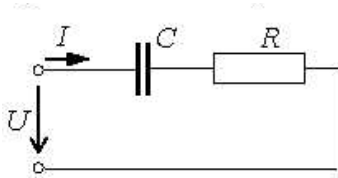


ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

Установившийся синусоидальный режим в RC-цепях

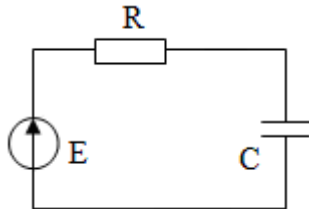
Задача 5.1

Как меняется действующее значение тока I с увеличением частоты f при неизменном действующем значении приложенного напряжения U ?



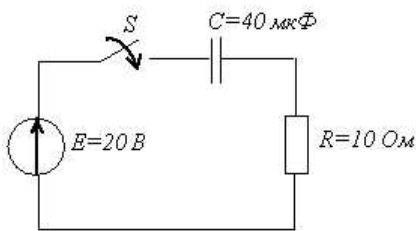
Задача 5.2

Чему равен ток в цепи при $f = 0$?



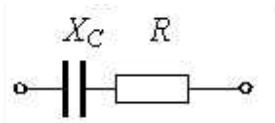
Задача 5.3

Определите установившееся значение тока в цепи после коммутации.



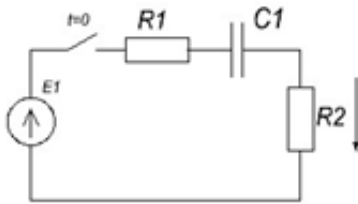
Задача 5.4

Определите комплексное сопротивление Z цепи, приведенной на рисунке, в алгебраической и показательной форме, если $X_C = 60 \text{ Ом}$, и $R = 80 \text{ Ом}$?



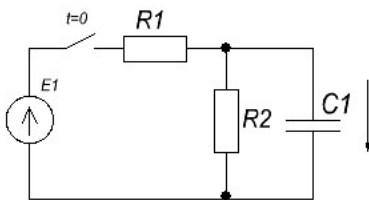
Задача 5.5

Составьте дифференциальное уравнение цепи после коммутации ($t > 0$), определите выражение $U_2(t)$ и нарисуйте качественно его график, если $C_1 = 5 \text{ мкФ}$, $R_1 = R_2 = 10 \text{ кОм}$, $E_1 = 5 \text{ мВ}$.



Задача 5.6

Составьте дифференциальное уравнение цепи после коммутации ($t > 0$), найдите $U_c(t)$ и изобразите качественно график. $C_1 = 4 \text{ мкФ}$, $R_1 = 5 \text{ кОм}$, $R_2 = 7 \text{ кОм}$, $E_1 = 15 \text{ мВ}$.



ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

Векторные диаграммы для RLC-цепей

Задача 6.1

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

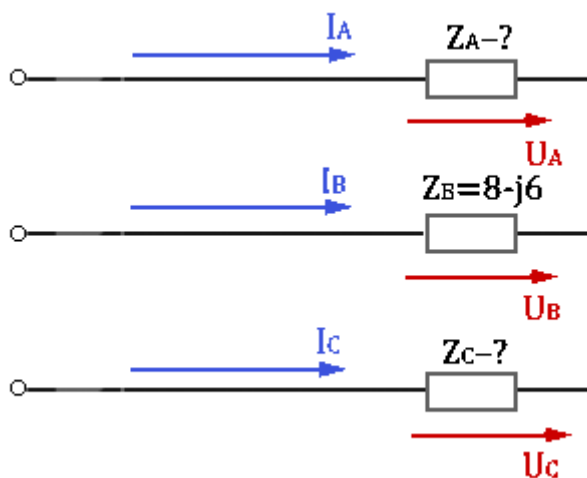
Z_A, Z_C (при условии симметричности токов),

U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} ,

Построить векторную 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:

$$\underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_B} = \frac{100 \cdot e^{-j90^\circ}}{10 \cdot e^{j \cdot 37^\circ}} = 10 \cdot e^{-j127^\circ} \text{ А}.$$

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° :

$$\underline{I}_A = \underline{I}_B \cdot e^{j \cdot 120^\circ} = 10 \cdot e^{-j 7^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_B \cdot e^{-j \cdot 120^\circ} = 10 \cdot e^{-j 247^\circ} = 10 \cdot e^{j 113^\circ} \text{ A}.$$

Зная токи и напряжения в фазах, находим сопротивления фаз:

$$\underline{Z}_A = \frac{\underline{U}_A}{\underline{I}_A} = \frac{100}{10 \cdot e^{-j 7^\circ}} = 10 \cdot e^{j 7^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_C = \frac{\underline{U}_C}{\underline{I}_C} = \frac{150 \cdot e^{j 135^\circ}}{10 \cdot e^{j 113^\circ}} = 15 \cdot e^{j 22^\circ} \text{ Ом};$$

Запишем фазные напряжения системы в алгебраической форме:

$$\underline{U}_A = 100 \text{ В};$$

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

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

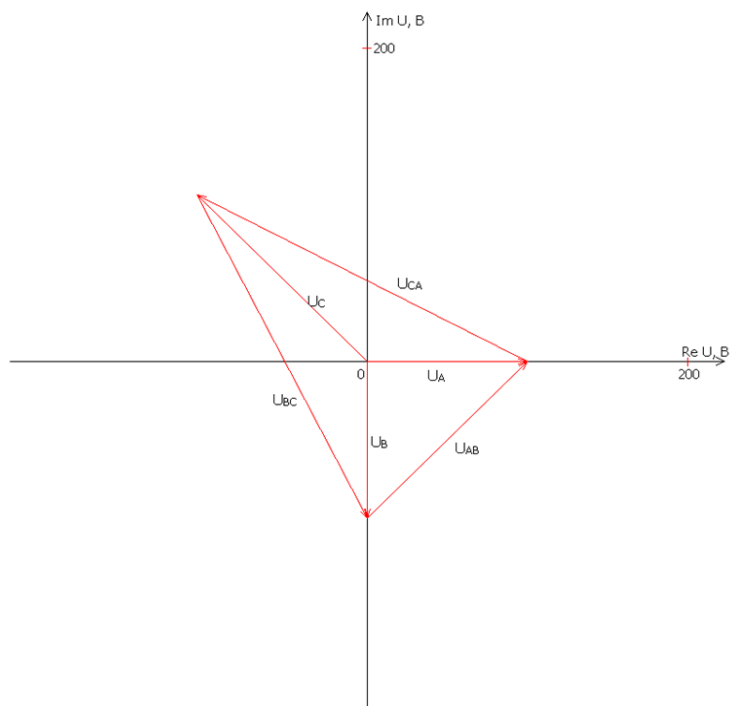
Линейные напряжения системы:

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

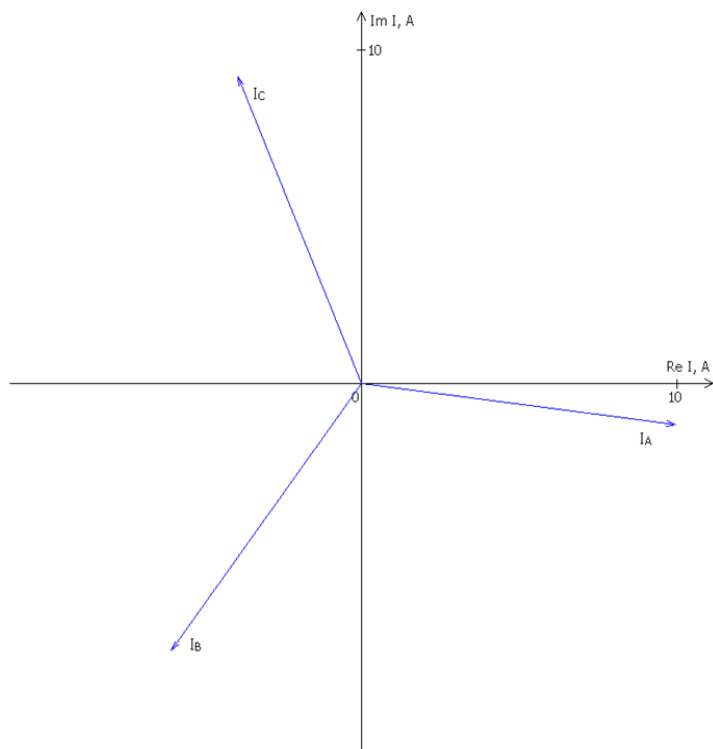
$$\underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C = -j 100 + 106,1 - j 106,1 = 106,1 - j 206,1 \text{ В};$$

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

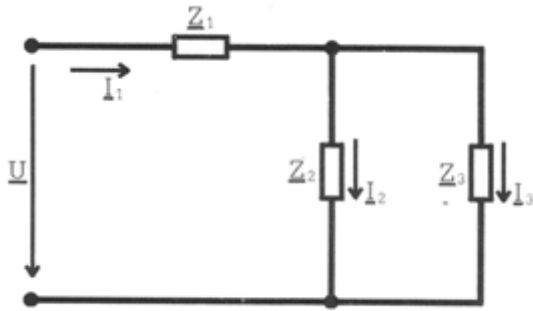
Топографическая диаграмма напряжений:



Векторная диаграмма токов:



Задача 6.2



По заданной величине найти все токи в ветвях и напряжения $U_{ав}$, $U_{аб}$, $U_{бв}$.

$$U_{бв} = 14,5 \text{ В}$$

$$\underline{Z}_1 = j7,1 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_2 = 8,9 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_3 = -j9,5 \text{ Ом}$$

$$\dot{U}_{бв} = 14,5 \text{ В}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{бв}}{\underline{Z}_2} = \frac{14,5 \text{ В}}{8,9 \text{ Ом}} = 1,63 \text{ А}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{бв}}{\underline{Z}_3} = \frac{14,5 \text{ В}}{-j9,5 \text{ Ом}} = j1,53 \text{ А} = 1,53 \cdot e^{j90^\circ} \text{ А}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 \text{ по первому закону Кирхгофа для узла б.}$$

$$\dot{I}_1 = 1,63 + j1,53 = 2,24 \cdot e^{j43^\circ} \text{ А}$$

$$\dot{U}_{аб} = \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 = (1,63 + j1,53) \cdot j7,1 = -10,9 + j11,6 = 15,9 \cdot e^{j133^\circ} \text{ В}$$

$$\dot{U}_{ав} = \dot{U}_{аб} + \dot{U}_{бв}$$

$$\dot{U}_{ав} = -10,9 + j11,6 + 14,5 = 3,6 + j11,6 = 12,1 \cdot e^{j73^\circ} \text{ В}$$

На рисунке приведена векторная диаграмма.

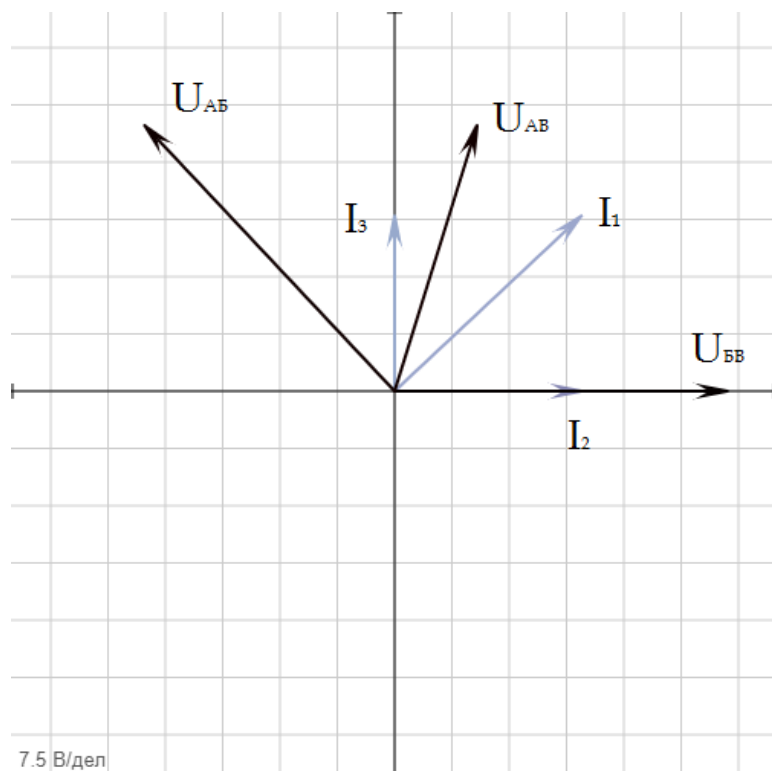
Порядок её построения следующий:

По результатам расчётов отложены векторы токов $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$.

Затем перпендикулярно направлению \dot{I}_1 в сторону опережения (т.к. $X_1 > 0$) отложен вектор $\dot{I}_1 \cdot X_1$, который соответствует напряжению $\dot{U}_{аб}$.

Затем по направлению \dot{I}_2 отложен вектор $\dot{I}_2 \cdot R$, который соответствует напряжению $\dot{U}_{\dot{I}_2}$. Этот же вектор можно получить, если перпендикулярно направлению \dot{I}_3 в сторону отставания (т.к. $X_3 < 0$) отложить вектор $\dot{I}_3 \cdot X_3$.

Сумма векторов $\dot{U}_{\dot{I}_2}$ и $\dot{U}_{\dot{I}_3}$ дает вектор приложенного напряжения \dot{U}_{AB} .



Литература

1. Соболев В.Н. Теория электрических цепей. Учебное пособие. Москва: Горячая линия - Телеком, 2014.
2. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И. Основы теории цепей. Учебное пособие. Москва: Горячая линия - Телеком, 2013.