Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра теоретических основ электротехники

Расчет электрических цепей постоянного и однофазного синусоидального тока

Методическое пособие
по теории электрических цепей

Минск 2008

УДК 621.3 (076)
ББК 31.2я7
Р 24

Авторы-составители:
С. В. Батюков, Н. А. Иваницкая, И. Л. Свито

Р 24 **Расчет** электрических цепей постоянного и однофазного синусоидального тока : метод. пособие по теории электрических цепей / сост. С. В. Батюков [и др.] – Минск : БГУИР, 2008. – 28 с. : ил.
ISBN 978-985-488-295-6

Приведены примеры расчета линейных электрических цепей постоянного и синусоидального токов. Предназначено для студентов всех специальностей всех форм обучения БГУИР.

УДК 621.3 (076)
ББК 31.2я7

ISBN 978-985-488-295-6

1. Примеры расчета линейных электрических цепей на основе закона Ома и законов Кирхгофа

Пример 1.1

Определим ток на участке a–b электрической цепи (рис. 1.1), если $E_1 = 20$ В, $E_2 = 40$ В, $R_1 = 8$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $U_{ab} = 100$ В.

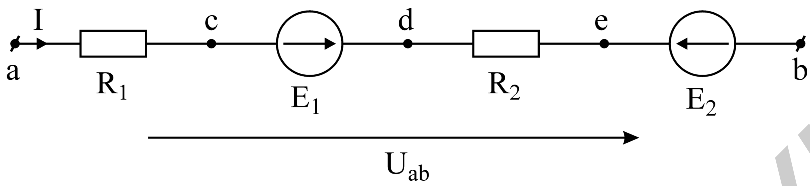


Рис. 1.1

Запишем для данного участка закон Ома :

$$U_{ab} = I\,(R_1 + R_2) + E_2 - E_1.$$

Тогда ток на участке a–b определится по следующей формуле:

$$I = \frac{U_{ab} + E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 + 20 - 40}{8 + 2} = 8\ \text{А}.$$

Последняя формула выражает **обобщенный закон Ома**, или закон Ома для участка, содержащего ЭДС. Из формулы видно, что если ток, напряжение и ЭДС совпадают по направлению, то в выражение закона Ома они входят с одинаковыми знаками. Если ЭДС действует в сторону, противоположную положительному направлению тока, то в выражении ставится знак «–». Знак «–» перед ЭДС, совпадающей по направлению с током, объясняется следующим: напряжение на участке с ЭДС противоположно направлено самой ЭДС и определяемому напряжению. **Закон Ома применяется для участка ветви и для одноконтурной замкнутой схемы.**

Пример 1.2

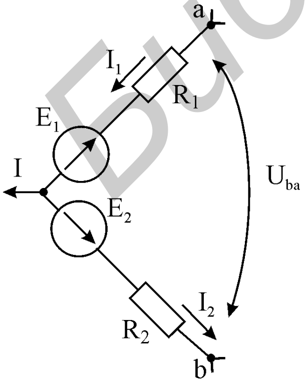


Рис. 1.2

Для схемы на рис. 1.2 определим напряжение U_{ba} , если $E_1 = 70$ В, $E_2 = 20$ В, $R_1 = 8$ Ом, $R_2 = 5$ Ом, $I_1 = 3$ А, $I_2 = 2{,}4$ А. Запишем формулу для расчета напряжения между узлами «b» и «a»:

$$U_{ba} = -I_2 R_2 + E_2 - E_1 - I_1 R_1,$$

Подставив численные значения, получим

$$U_{ba} = -12 + 20 - 70 - 24 = -86\ \text{В}.$$

Пример 1.3

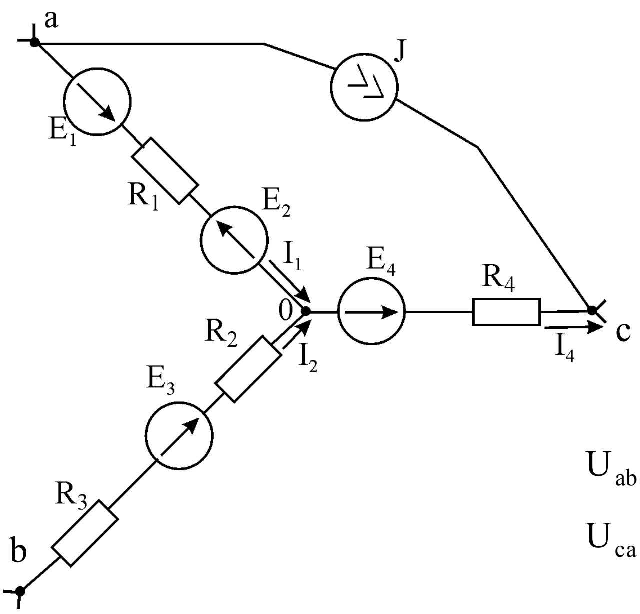


Рис. 1.3

Для схемы на рис. 1.3 определим напряжения U_{ab} и U_{ca}, если $E_1 = 20$ В, $E_2 = 50$ В, $E_3 = 10$ В, $E_4 = 60$ В, $J = 3$ А, $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = R_3 = 1$ Ом, $R_4 = 4$ Ом, $I_1 = 4$ А, $I_4 = 11$ А, $I_2 = 7$ А.

Используя обобщенный закон Ома для участка цепи, запишем формулы для определения напряжений U_{ab} и U_{ca}:

$$U_{ab} = I_1R_1 - I_2R_2 - I_2R_3 - E_1 + E_2 + E_3,$$

$$U_{ca} = -I_4R_4 - I_1R_1 + E_4 + E_1 - E_2.$$

Подставив численные значения, получим:

$$U_{ab} = 20 - 7 - 7 - 20 + 50 + 10 = 46 \text{ В},$$

$$U_{ca} = -44 - 7 + 60 + 20 - 50 = 21 \text{ В}.$$

Законы Кирхгофа

Для расчета разветвленных электрических цепей применяют 1-й и 2-й законы Кирхгофа. Распределение токов по ветвям электрической цепи подчиняется первому закону Кирхгофа, а распределение напряжений по участкам цепи – второму закону Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа:

алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum I_i = 0.$$

Число уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа, определяется формулой

$N_{УР} = N_У - 1$,

где $N_У$ – число узлов в рассматриваемой цепи.

Второй закон Кирхгофа:

алгебраическая сумма ЭДС в любом замкнутом контуре цепи равна алгебраической сумме падений напряжения на элементах этого контура:

$$\sum I_i R_i = \sum E_i,$$

где i – номер элемента (сопротивления или источника напряжения) в рассматриваемом контуре.

Число уравнений, составляемых для расчета схемы по второму закону Кирхгофа, определяется формулой

$$N_{ур} = N_{в} - N_{у} + 1 - N_{т},$$

где $N_в$ – число ветвей электрической цепи, $N_У$ – число узлов электрической цепи, $N_Т$ – число идеальных источников тока электрической цепи.

Пример 1.4

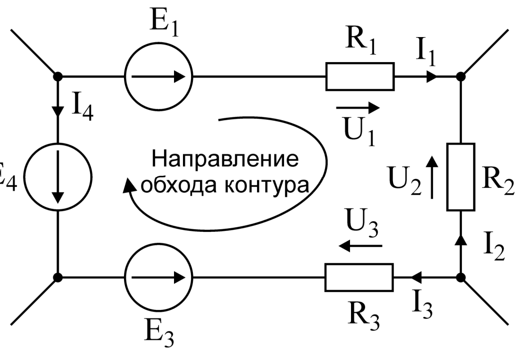


Рис. 1.4

Для схемы на рис. 1.4 запишем уравнение по 2-му закону Кирхгофа в общем виде. Для того чтобы правильно записать второй закон Кирхгофа для заданного контура, следует выполнить следующие действия:

1. Произвольно выбрать направление обхода контура, например по часовой стрелке (см. рис. 1.4).

2. ЭДС и падения напряжения, которые совпадают по направлению с выбранным направлением обхода, записать в выражении со знаком «+»; если ЭДС и падения напряжения не совпадают с направлением обхода контура, то перед ними поставить знак «–».

С учетом вышесказанного второй закон Кирхгофа для схемы на рис. 1.3 запишется следующим образом: $U_1 - U_2 + U_3 = E_1 - E_3 - E_4$, или

$$I_1R_1 - I_2R_2 + I_3R_3 = E_1 - E_3 - E_4.$$

Пример 1.5

В цепи (рис. 1.5) заданы токи I_1 и I_3, сопротивления и ЭДС. Определим токи I_4, I_5, I_6, напряжение между точками a и b, если известно, что I_1 = 10 мА, I_3 = –20 мА, R_4 = 5 кОм, E_5 = 20 В, R_5 = 3 кОм, E_6 = 40 В, R_6 = 2 кОм.

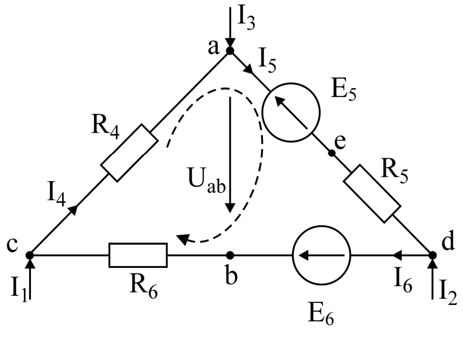


Рис. 1.5

Для решения данной задачи составим два уравнения по первому закону Кирхгофа и одно – по второму. Запишем систему уравнений в общем виде, в которой 1-е и 2-е уравнения соответствуют 1-му закону Кирхгофа для узлов «a» и «c» соответственно. Последнее уравнение системы записано по 2-му закону Кирхгофа для направления контура, указанного на рис. 1.5. С учетом вышесказанного система уравнений будет иметь следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} I_3 + I_4 - I_5 &= 0; \\ I_1 + I_6 - I_4 &= 0; \\ I_4R_4 + I_5R_5 + I_6R_6 &= -E_5 + E_6. \end{aligned}\right\}$$

Подставив численные значения и решив систему, получим

I_6=0 мА, I_4=10 мА, I_5= –10 мА.

Выбрав направление для напряжения U_{ab} от точки «a» к точке «b», определим его, используя второй закон Кирхгофа:

$$I_4R_4 + U_{ab} + I_6R_6 = 0.$$

Подставив численные значения в последнее уравнение, получим

$$U_{ab} = -50 \text{ В}.$$

2. Примеры расчета линейных электрических цепей методом контурных токов

Метод контурных токов основан на использовании только второго закона Кирхгофа, что позволило уменьшить число уравнений. Достигается это разделением схемы на независимые контуры и введением для каждого контура своего тока – контурного, являющегося определяемой величиной. Количество уравнений соответствует количеству уравнений, составляемых по второму закону Кирхгофа, и может быть определено из уравнения

$$K = N_В - N_У + 1 - N_Т,$$

где $N_В$ – число ветвей,

$N_У$ – число узлов,

$N_Т$ – число ветвей с источником тока.

Контуры, для которых составляются уравнения, не должны содержать ветви с источником тока, но учет падения напряжения от источников тока обязателен. Для этого рекомендуется обозначать контуры, которые содержат источник тока, но только один. В этом случае контурный ток известен и равен по величине источнику тока. Источник тока не может быть включен в несколько контуров.

Пример 2.1

Определить токи во всех ветвях схемы (рис. 2.1), если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 10\ \text{Ом}$, $E_1 = 10$ В, $E_2 = 50$ В, $J_{03} = 1$ А.

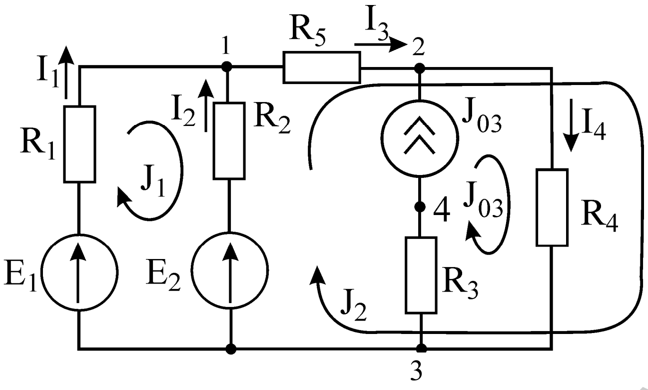


Рис. 2.1

Определим количество уравнений по формуле

$$K = N_В - N_У + 1 - N_Т = 5 - 3 + 1 - 1 = 2.$$

Обозначим контурные токи J_1, J_2, а также известный контурный ток J_{03}.

Уравнения для определения неизвестных контурных токов J_1 и J_2:

$$\begin{cases} J_1(R_1 + R_2) - J_2R_2 = E_1 - E_2; \\ -J_1R_2 + J_2(R_2 + R_5 + R_4) + J_{03}R_4 = E_2. \end{cases}$$

Подставим численные значения:

$$\begin{cases} 20J_1 - 10J_2 = -40; \\ -10J_1 + 30J_2 = 40, \end{cases}$$

откуда $J_1 = -1{,}6$ А, $J_2 = 0{,}8$ А.

Обозначим токи в ветвях схемы (рис. 2.2).

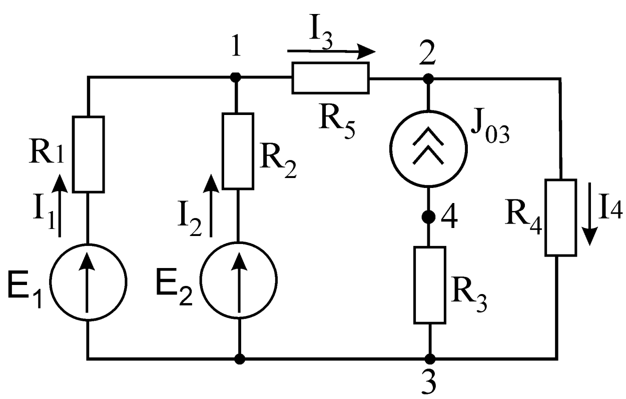


Рис. 2.2

Определим токи в ветвях, исходя из известных контурных токов:

$$I_1 = J_1 = -1{,}6 \text{ A};$$

$$I_2 = J_2 - J_1 = 2{,}4 \text{ A};$$

$$I_3 = J_2 = 0{,}8 \text{ A};$$

$$I_4 = J_2 + J_{03} = 1{,}8 \text{ A};$$

Контурный ток берётся со знаком плюс, если направление контурного тока и тока в ветви совпадают, и со знаком минус, если токи направлены в разные стороны. Для проверки правильности решения составим баланс мощностей:

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 + J_{03} U_{24} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5,$$

$$U_{24} = I_4 R_4 + J_{03} R_3 = 28 \text{ B} \text{ или}$$

$$-10 \cdot 1{,}6 + 50 \cdot 2{,}4 + 28 \cdot 1 = 25{,}6 + 57{,}6 + 6{,}4 + 10 + 32{,}4,$$

$$132 = 132.$$

Пример 2.2

Составить уравнения по методу контурных токов и определить токи во всех ветвях схемы (рис. 2.3), если J_1 = 1 мА; J_2 = 2 мА; J_3 = 3 мА; R_4 = 4 кОм; R_5 = 5 кОм; R_6 = 6 кОм; R_7 = 7 кОм; E_4 = 27 В.

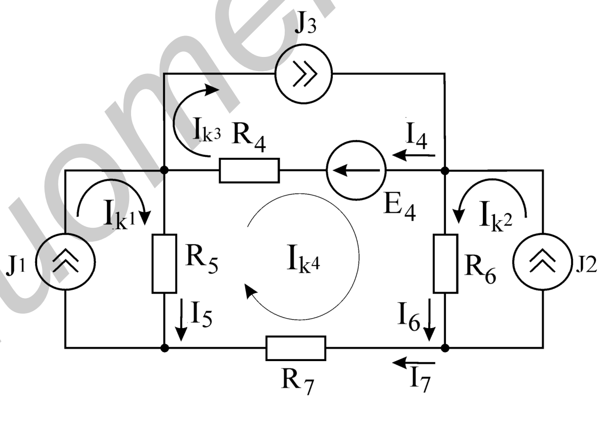


Рис. 2.3

На примере данной задачи покажем, как пользоваться методом контурных токов, если схема содержит источники тока. В цепи четыре независимых контура, следовательно, обозначим четыре контурных тока: $I_{л1}$, I_{k2}, I_{k3}, I_{k4} и их положительные направления. Токи I_{k1}, I_{k2}, I_{k3} протекают через источники тока J_1, J_2, J_3 соответственно. Следовательно, $I_{k1} = J_1 = 1$ мА, $I_{k2} = J_2 = 2$ мА, $I_{k3} = J_3 = 3$ мА.

В данной задаче необходимо определить один контурный ток I_{k4} , следовательно, составляем только одно уравнение:

$$-I_{k_1}R_5 + I_{k_2}R_6 - I_{k_3}R_4 + I_{k_4}(R_4 + R_5 + R_6 + R_7) = -E_4,$$

откуда $I_{k_4} = -1$ мА. Токи в ветвях схемы определим как алгебраическую сумму контурных токов:

$$I_4 = I_{k_3} - I_{k_4} = 3 - (-1) = 4 \text{ мА};$$

$$I_5 = I_{k_1} - I_{k_4} = 1 - (-1) = 2 \text{ мА};$$

$$I_6 = I_{k_2} + I_{k_4} = 2 - 1 = 1 \text{ мА};$$

$$I_7 = I_{k_4} = -1 \text{ мА}.$$

Правильность решения задачи проверим, составив уравнение по второму закону Кирхгофа для контура 4 (контур обходим по часовой стрелке):

$$-I_5R_5 - I_4R_4 + I_6R_6 + I_7R_7 = -E_4,$$

где левая часть равна $-I_5R_5 - I_4R_4 + I_6R_6 + I_7R_7 = -4 \cdot 4 + 1 \cdot 6 - 1 \cdot 7 - 2 \cdot 5 = -27$, а правая часть равна $(-E_4) = -27$.

Второй закон Кирхгофа выполняется, так как получили численное равенство

$$-27 = -27.$$

3. Примеры расчета линейных электрических цепей методом узловых напряжений

Метод основан на использовании первого закона Кирхгофа. Количество уравнений, составляемых по этому методу, определяется из выражения

$$K = N_у - 1 - N_н,$$

где $N_у$ – число узлов;

$N_н$ – число источников напряжения, включенных между узлами без сопротивлений.

При составлении уравнений в качестве базисного узла (узел, потенциал которого принимается равным нулю) целесообразно выбрать тот узел, в котором сходится наибольшее число ветвей. Если в схеме имеется ветвь с источником напряжения без сопротивления, то в качестве базисного выбирают один из тех узлов, к которому присоединена эта ветвь. Если схема содержит две и более подобных ветвей (причем эти ветви не имеют общих узлов), то такую схему необходимо преобразовать.

В результате решения системы узловых уравнений определяются напряжения между узлами схемы. Токи в ветвях находятся с помощью закона Ома.

Пример 3.1

Определить токи в ветвях схемы (рис. 3.1), если

$$R_1 = R_3 = R_4 = R_5 = R_7 = 10\ \text{Ом};\ E_1 = 50\ \text{В};\ E_3 = 20\ \text{В};\ E_7 = E_6 = 30\ \text{В};$$

$$J_{02} = 2\ \text{А}.$$

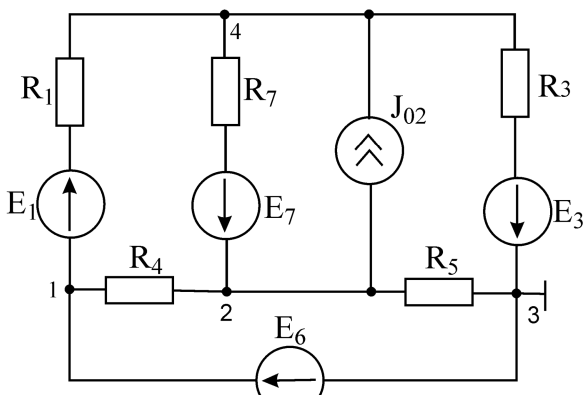


Рис. 3.1

Определим количество уравнений, необходимых для решения. Для этого обозначим узлы схемы и воспользуемся формулой

$$K = N_Y - 1 - N_H = 4 - 1 - 1 = 2.$$

Базисным узлом выберем узел 3, тогда напряжение $U_{13} = E_6 = 30\ \text{В}$, а уравнения будут иметь вид

$$\begin{cases} U_{43}\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_3} + \dfrac{1}{R_7}\right) - U_{23}\dfrac{1}{R_7} - U_{13}\dfrac{1}{R_1} = \dfrac{E_1}{R_1} - \dfrac{E_7}{R_7} - \dfrac{E_3}{R_3} + J_{02}; \\ -U_{43}\dfrac{1}{R_7} + U_{23}\left(\dfrac{1}{R_4} + \dfrac{1}{R_5} + \dfrac{1}{R_7}\right) - U_{13}\dfrac{1}{R_4} = \dfrac{E_7}{R_7} - J_{02}. \end{cases}$$

Подставив численные значения, получим систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} 0{,}3U_{43} - 0{,}1U_{23} = 5; \\ -0{,}1U_{43} + 0{,}3U_{23} = 4. \end{cases}$$

В результате решения определяем узловые напряжения : $U_{43} = 23{,}75\ \text{В}$;
$U_{23} = 21{,}75\ \text{В}$; $U_{13} = 30\ \text{В}$.

Вычисляем напряжения между остальными узлами как разность узловых напряжений:

$$U_{12} = U_{13} - U_{23} = 30 - 21{,}25 = 8{,}75\ \text{В};$$

$$U_{14} = U_{13} - U_{43} = 30 - 23{,}75 = 6{,}25\ \text{В};$$

$$U_{24} = U_{23} - U_{43} = 21{,}25 - 23{,}75 = -2{,}5\ \text{В}.$$

На основании второго закона Кирхгофа и закона Ома составим уравнения для определения токов в ветвях схемы (рис. 3.2):

$$U_{14} = I_1 R_1 - E_1,$$

отсюда

$$I_1 = (U_{14} + E_1)/R_1 = 5{,}625A;$$
$$I_4 = -U_{12}/R_4 = -0{,}875A;$$
$$U_{24} = E_7 - I_7R_7;$$
$$I_7 = (E_7 - U_{24})/R_7 = 3{,}25A;$$
$$I_5 = -U_{23}/R_5 = -2{,}125A;$$
$$U_{43} = I_3R_3 - E_3;$$
$$I_3 = (U_{43} + E_3)/R_3 = 4{,}375A.$$

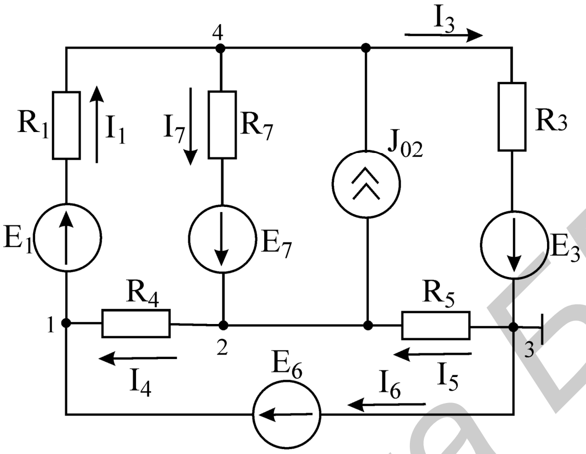


Рис. 3.2

На основании первого закона Кирхгофа для узла 1

$$I_6 = I_1 - I_4 = 6{,}5 \text{ A}.$$

Правильность решения проверим, составив баланс мощностей :

$$E_1I_1 + E_7I_7 + J_{02}(-U_{24}) + E_6I_6 + E_3I_3 = I_1^2R_1 + I_7^2R_7 + I_4^2R_4 + I_5^2R_5 + I_3^2R_3 \text{ или}$$
$$50 \cdot 5{,}625 + 30 \cdot 3{,}25 + 2 \cdot 2{,}5 + 30 \cdot 6{,}5 + 20 \cdot 4{,}375 = 5{,}625^2 \cdot 10 + 3{,}25^2 \cdot 10 +$$
$$+0{,}875^2 \cdot 10 + 2{,}125^2 \cdot 10 + 4{,}375^2 \cdot 10,$$
$$666{,}25 = 666{,}25.$$

Пример 3.2

В схеме на рис. 3.3 известны параметры элементов:
E_1 = 24 В; E_3 = 12 В; J = 20 А; R_1 = 6 Ом; R_2 = 6 Ом; R_3 = 3 Ом ; R_4 = 12 Ом; R_5 = 4 Ом.
Определить все токи в данной схеме методом узловых напряжений.

Цепь содержит три узла, ветви с идеальными ЭДС. отсутствуют. Число необходимых уравнений, определяемое по формуле (4), равно двум. Третий узел принимаем за базисный. Система уравнений имеет вид

$$\begin{cases} U_{13}g_{11} - U_{23}g_{12} = I_{y1}; \\ -U_{13}g_{21} + U_{23}g_{22} = I_{y2}, \end{cases} \tag{3.1}$$

где $g_{11} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{2}{3}$, $g_{22} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{3} + \frac{1}{12} + \frac{1}{4} = \frac{2}{3}$,

$g_{12} = g_{21} = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3}$, $I_{y1} = \frac{E_1}{R_1} - \frac{E_3}{R_3} = \frac{24}{6} - \frac{12}{3} = 0$, $I_{y2} = \frac{E_3}{R_3} + J = \frac{12}{3} + 20 = 24$.

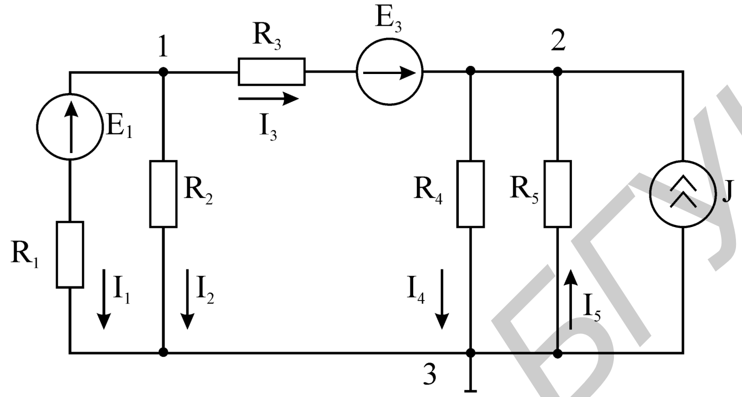


Рис. 3.3

В результате численного решения системы (3.1) определяем, что напряжение $U_{13} = 24$ В, а $U_{23} = 48$ В.
Токи ветвей определяем по обобщенному закону Ома:

$$I_1 = \frac{U_{13} - E_1}{r_1} = \frac{24 - 24}{6} = 0 \text{ A};$$

$$I_2 = \frac{U_{13}}{r_2} = \frac{24}{6} = 4 \text{ A};$$

$$I_3 = \frac{U_{12} + E_3}{r_3} = \frac{U_{13} - U_{23} + E_3}{r_3} = \frac{24 - 48 + 12}{3} = -4 \text{ A};$$

$$I_4 = \frac{U_{23}}{r_4} = \frac{48}{12} = 4 \text{ A};$$

$$I_5 = -\frac{U_{23}}{r_5} = -\frac{48}{4} = -12 \text{ A}.$$

Правильность решения задачи целесообразно проверить по второму закону Кирхгофа (уравнение составим для внешнего контура) и путем проверки выполнения баланса мощностей.

1. Второй закон Кирхгофа:

$$-I_1R_1 + I_3R_3 - I_5R_5 = E_1 + E_3;$$
$$0 - 4\cdot 3 - (-12)\cdot 4 = 24 + 12;$$
$$36\ \text{В} = 36\ \text{В}.$$

2. Уравнение баланса мощностей:

$$I_1^2R_1 + I_2^2R_2 + I_3^2R_3 + I_4^2R_4 + I_5^2R_5 = -E_1I_1 + E_3I_3 + JU_{23};$$
$$4^2\cdot 6 + 4^2\cdot 3 + 4^2\cdot 12 + 12^2\cdot 4 = 12\cdot(-4) + 20\cdot 48;$$
$$912\ \text{Вт} = 912\ \text{Вт}.$$

Мощность приемников равна мощности потребителей, т.е. баланс мощностей выполняется.

Пример 3.3

В схеме на рис. 3.4 известны параметры элементов:
R_1 = 5 кОм; R_2 = 4 кОм; R_4 = 2,5 кОм; R_5 = 2 кОм; R_7 = 12 кОм; E_3 = 40 В; E_5 = 50 В; E_6 = 60 В; J_7 = 15 мА.
Определить токи в схеме методом узловых напряжений.

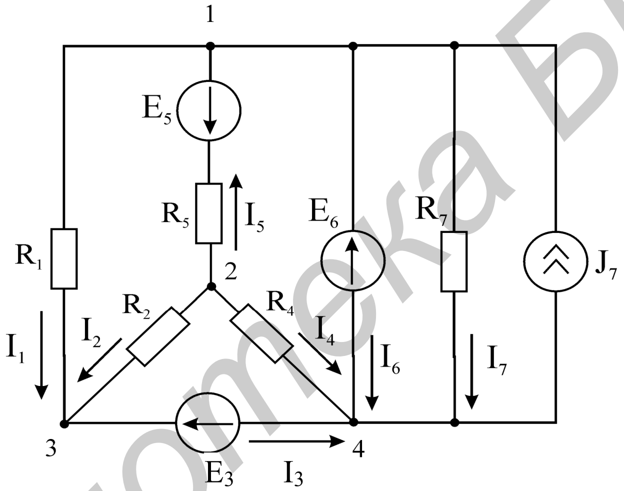


Рис. 3.4

В схеме 4 узла; в ветвях 3 и 6 включены идеальные ЭДС, эти ветви соединяются в узле 4. По формуле определяем число уравнений $N_{ур} = 4 - 1 - 2 =$ = 1. Действительно, если за базисный узел принять узел 4 (но также можно принять узел 1 или 3), то сразу определяем что: $U_{34} = E_3 = 40$ В и $U_{14} = E_6 = 60$ В. Неизвестным остается узловое напряжение U_{24}. Уравнение по методу узловых напряжений имеет вид

$$-U_{14}\cdot g_{21} + U_{24}\cdot g_{22} - U_{34}\cdot g_{23} = I_{y2}\ , \qquad (3.2)$$

где $g_{22} = \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_5} + \dfrac{1}{R_4} = 1{,}15$, $g_{21} = \dfrac{1}{R_5} = 0{,}5$, $g_{23} = \dfrac{1}{R_2} = 0{,}25$, $I_{y2} = \dfrac{E_5}{R_5} = 25$.

Перепишем уравнение (3.2), подставив в него известные величины g_{22}, g_{21}, g_{23}, I_{y2}:

$$-60\cdot 0{,}5 + U_{24}\cdot 1{,}15 - 40\cdot 0{,}25 = 25,$$

$$U_{24}=56{,}52\ В.$$

Определяем токи I_1 ; I_2 ; I_4 ; I_5 ; I_7 по закону Ома:

$$I_1 = \frac{U_{13}}{R_1} = \frac{U_{14} - U_{34}}{R_1} = 4\ мА\ ;$$

$$I_2 = \frac{U_{23}}{R_2} = \frac{U_{24} - U_{34}}{R_2} = 4{,}13\ мА\ ;$$

$$I_4 = \frac{U_{24}}{R_4} = 22{,}6\ мА\ ;$$

$$I_5 = \frac{U_{21} - E_5}{R_5} = -26{,}74\ мА\ ;$$

$$I_7 = \frac{U_{14}}{R_7} = 5\ мА.$$

Токи I_3 и I_6 определяем по первому закону Кирхгофа:

$$I_3 = I_1 + I_2 = 4 + 4{,}13 = 8{,}13\ мА,$$

$$I_6 = J_7 - I_4 - I_3 - I_7 = 15 - 22{,}6 - 8{,}13 - 5 = -20{,}73\ мА.$$

Пример 3.4

В схеме на рис. 3.5 известны параметры элементов: E_3 = 80 В; E_4 = 120 В; J_2 = 4 А; J_1 = 8 А; $R_2 = R_6$ = 20 Ом; $R_1 = R_5$=30 Ом. Определить в данной схеме токи по методу узловых напряжений.

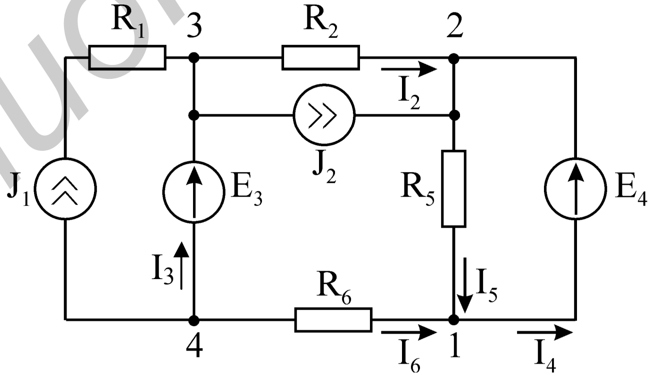
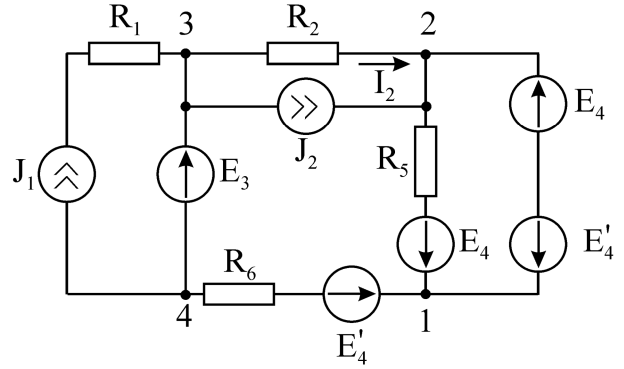
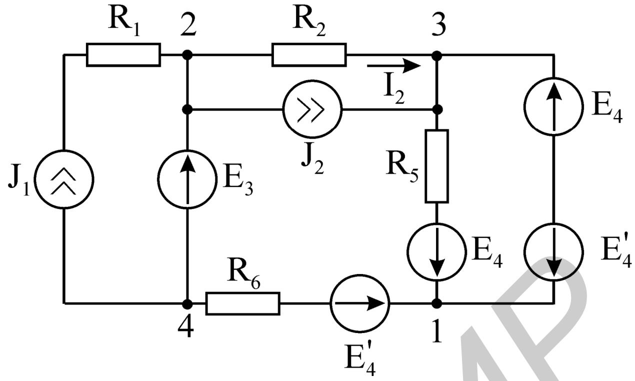


Рис. 3.5

Особенностью цепи является наличие двух ветвей с идеальными ЭДС, которые располагаются в разных частях схемы. В этом случае цепь подвергается следующему преобразованию. В одну из ветвей, содержащих идеальную ЭДС (например E_4), включают компенсирующую ЭДС E'_4 (равную E_4 по величине и противоположную по направлению), причем точно такая же ЭДС E'_4 включается во все соседние ветви, сходящиеся в одном из узлов данной ветви. Направление компенсирующей ЭДС по отношению к этому узлу сохраняется. Токораспределение в цепи не изменяется. На рис. 3.6–3.8 демонстрируется это преобразование.





I_3 I_3

Рис. 3.6 3 Рис. 3.7 2

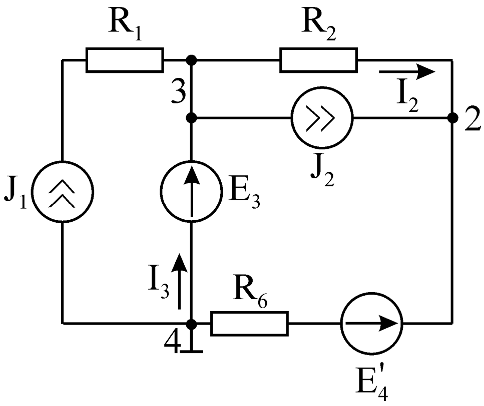


Рис. 3.8

Теперь цепь содержит только одну ветвь с идеальной ЭДС E_3. Потенциалы узлов 1 и 2 равны, т.к. их соединяет короткозамкнутый участок. Следовательно, ветвь с R_5 можно удалить из схемы.
Примем узел 4 за базисный, тогда $U_{34} = E_3 = 80$ В.
Уравнение по методу узловых напряжений имеет вид

$$U_{24} \cdot g_{22} - U_{34} \cdot g_{23} = I_{y2}, \qquad (3.3)$$

где $g_{22} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_6} = \frac{1}{10}$, $g_{23} = \frac{1}{R2} = \frac{1}{20}$, $I_{y2} = \frac{E'_4}{R_6} + J_2 = 10$.
Запишем уравнение (3.3), подставив в него известные величины g_{22}, g_{23}, I_{y2}:

$$U_{24} \cdot \frac{1}{10} - 80 \cdot \frac{1}{20} = 10.$$

Решив последнее уравнение, получим

$$U_{24} = 140 \text{ В};$$

$$I_2 = \frac{U_{34} - U_{24}}{R_2} = -3 \text{ А}.$$

Переходим к исходной схеме.
Запишем уравнение по 1-му закону Кирхгофа для узла 3:

$$J_1 - J_2 - I_2 + I_3 = 0,$$

откуда

$$I_3 = -7 \text{ А}.$$

Запишем уравнение по 1-му закону Кирхгофа для узла 4:

$$-J_1 - I_3 - I_6 = 0,$$

откуда

$$I_6 = -1 \text{ А}.$$

Ток в ветви 5 определим по закону Ома:

$$I_5 = \frac{E_4}{R_5} = 4 \text{ А.}$$

Ток в ветви с идеальной ЭДС E_4 определим по 1-му закону Кирхгофа:

$$I_4 = I_5 + I_6 = -3 \text{ А.}$$

4. Примеры расчета линейных электрических цепей методом эквивалентного генератора

Методы решения задач, основанные на теоремах об эквивалентном источнике напряжения и эквивалентном источнике тока, называются соответственно методом эквивалентного генератора напряжения и методом эквивалентного источника тока. Эти методы используются в тех случаях, когда по условию задачи требуется рассчитать ток только одной ветви электрической цепи. Для того чтобы определить ток в произвольной ветви схемы методом эквивалентного генератора напряжения (МЭГН), необходимо:

а) электрическую цепь, к которой подключена данная ветвь, заменить эквивалентным источником напряжения, величина которого определяется напряжением на выходах разомкнутой ветви, а внутреннее сопротивление источника равняется входному сопротивлению пассивной электрической цепи относительно точек разрыва. Напряжение между точками разрыва определяется любым ранее изученным методом. Так как для определения напряжения сопротивление нагрузки из схемы исключается, то напряжение эквивалентного генератора называют напряжением холостого хода и обозначают U_{xx}. При определении внутреннего сопротивления источника напряжения (необходимо ветви, содержащие источники тока, разорвать, т.е. исключить все элементы, находящиеся в таких ветвях, а источники напряжения закоротить, т.е. на месте источников напряжения включить перемычки;

б) определить искомый ток по формуле

$$I_Н = U_{xx}/(R_Г + R_Н).$$

Для того чтобы определить ток в произвольной ветви схемы методом эквивалентного генератора тока (МЭГТ) (рис. 4.1, а), необходимо:

а) электрическую цепь, к которой подключена данная ветвь, заменить эквивалентным источником тока; ток эквивалентного источника должен быть равен току, проходящему между выводами m и n (рис. 4.1, б), замкнутыми накоротко, а внутренняя проводимость источника $Y_Г$ должна равняться входной проводимости пассивной электрической цепи (рис.4.1, в) со стороны выводов m и n;

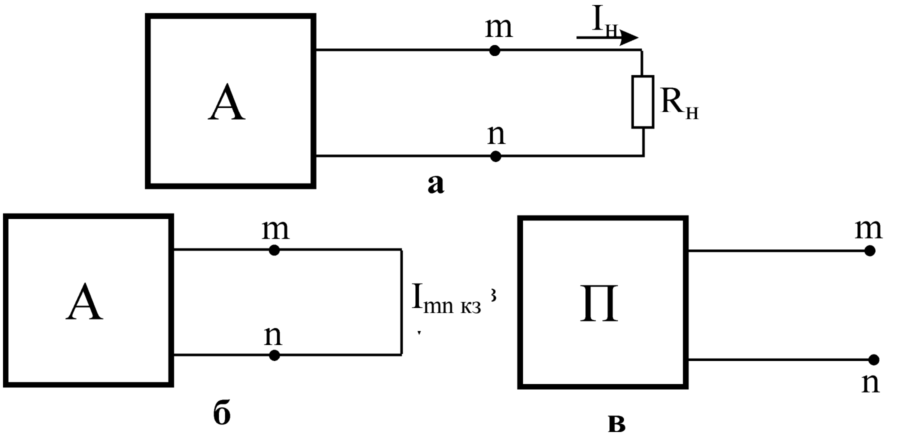


Рис. 4.1

б) определить искомый ток в ветви по формуле

$$I_H = R_Г I_{mn\ кз}/(R_Г + R_H) = Y_H I_{mn\ кз}/(Y_H + Y_Г),$$

где

$$Y_H = 1/R_H.$$

Пример 4.1

Определить ток в ветви с R_4 (рис. 4.2) МЭГН, если

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100$ Ом;

$R_5 = R_6 = 50$ Ом;

$E_1 = 100$ В;

$J_{06} = 2$ А.

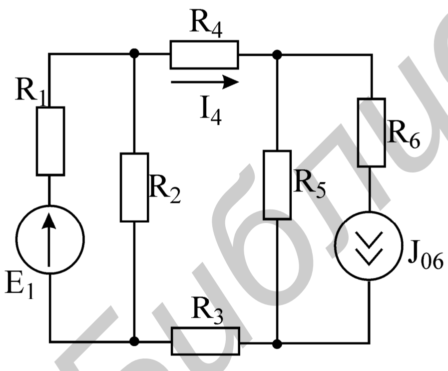


Рис. 4.2

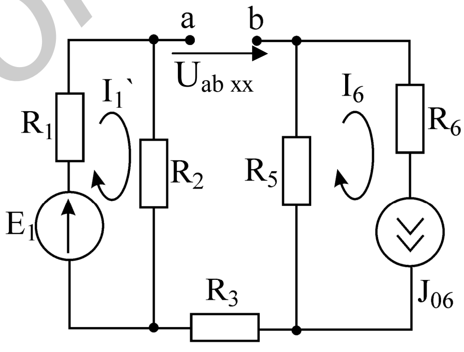


Рис. 4.3

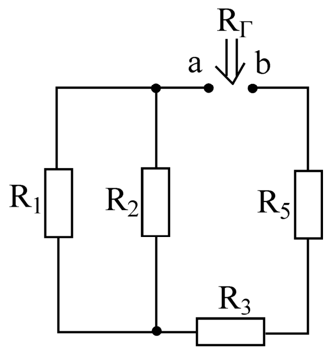


Рис. 4.4

1. Определим ЭДС эквивалентного генератора напряжения, равную $U_{ab\ xx}$ (рис. 4.3).

Исходная схема распалась на две одноконтурные схемы, токи которых равны:

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1 + R_2} = \frac{100}{100+100} = 0{,}5 \text{ A};$$

$$I_6 = J_{06}.$$

Ток в сопротивлении R_3 равен нулю. Определим напряжение $U_{ab\,xx}$:

$$U_{ab\,xx} = I_1R_2 + I_3R_3 + I_6R_5 = 0{,}5 \cdot 100 + 0 \cdot 100 + 2 \cdot 50 = 150 \text{ В}.$$

Для определения $R_Г$ источник ЭДС E_1 заменим его внутренним сопротивлением (так как $R_{1ВН} = 0$, то на месте E_1 включим перемычку), ветвь с источником J_{06} разорвём (рис. 4.4):

$$R_Г = R_5 + R_3 + \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} = 50 + 100 + \frac{100 \cdot 100}{100+100} = 200 \text{ Ом}.$$

2. Определим ток I_4:

$$I_4 = U_{ab\,xx}/(R_Г + R_4) = 150/(200+100) = 0{,}5 \text{ А}.$$

Пример 4.2

Определить ток в ветви с R_3 МЭГТ (рис. 4.5), если $E_1 = 10$ В, $R_1 = R_3 = 10$ Ом, $J_{02} = 1$ А.

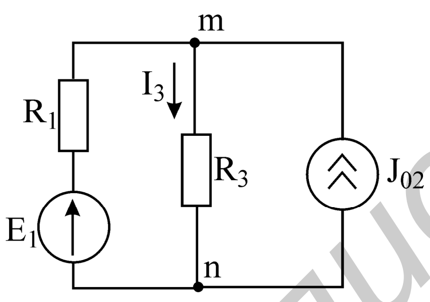


Рис.4.5

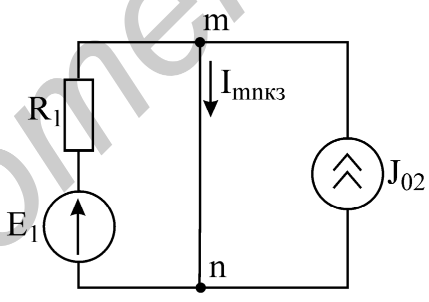


Рис. 4.6

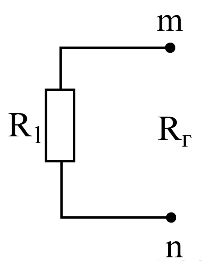


Рис. 4.7

1. Определим ток короткого замыкания в ветви при условии замены сопротивления R_3 перемычкой (рис. 4.6). Используя метод наложения, определим ток $I_{mn\,kз}$. При воздействии только источника напряжения E_1

$$I'_{mn\,kз} = E_1/R_1 = 1 \text{ А}.$$

при воздействии только источника тока J_{02} получаем $I''_{mn\,kз} = J_{02} = 1$ А.

Сумма частичных токов $I'_{mn\,kз}$ и $I''_{mn\,kз}$ даст общий ток $I_{mn\,kз} = I'_{mn\,kз} + I''_{mn\,kз} = 2$ А.

Для того чтобы определить $R_Г$, исключим из схемы источник напряжения E_1 и источник тока J_{02} (рис. 4.7):

$$R_Г = R_1 = 10\ Ом;\ \ Y_Г = 0{,}1\ См\ .$$

2. Определим ток I_3:

$$I_3 = I_{kз} R_Г / (R_Г + R_Н) = 2 \cdot 10/(10 + 10) = 1\ А,$$

или

$$I_3 = I_{kз} Y_Н / (Y_Н + Y_Г) = 2 \cdot 0{,}1/(0{,}1 + 0{,}1) = 1\ А.$$

5. Примеры расчета линейных электрических цепей однофазного синусоидального тока

Пример 5.1

Рассчитать комплексные входные сопротивление и проводимость цепи, определить их характер, изобразить последовательную и параллельную схемы замещения цепи. Ток и напряжение на входе цепи:

$$i = 7{,}07 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(10^3 t + 60^\circ)\ А;$$

$$u = 14{,}14 \cdot \sin(10^3 t + 90^\circ)\ В.$$

Для определения комплексного входного сопротивления $Z = ze^{j\varphi}$ необходимо вычислить его модуль Z и сдвиг фаз φ:

$$z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{14{,}14}{7{,}07 \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 10^3\ Ом;$$

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ;$$

$$Z = ze^{j\varphi} = 2 \cdot 10^3 \cdot e^{j30^\circ}\ Ом.$$

Проводимость – величина, обратная сопротивлению:

$$Y = \frac{1}{Z} = 0{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j30^\circ}.$$

Определяя алгебраическую форму записи Z и Y, находим активные и реактивные сопротивления и проводимости:

$$Z = 2 \cdot 10^3 \cdot e^{j30^\circ} = 1{,}73 \cdot 10^3 + j1 \cdot 10^3\ Ом,$$

$$Y = 0{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j30^\circ} = 0{,}43 \cdot 10^{-3} - j0{,}25 \cdot 10^{-3}\ См.$$

Следовательно:

$$R = 1{,}73 \cdot 10^3\ Ом,\ \ X = 1 \cdot 10^3\ Ом,$$

$$g = 0{,}43 \cdot 10^{-3}\ См,\ b = 0{,}25 \cdot 10^{-3}\ См.$$

Знак «+» перед мнимой частью Z говорит об активно-индуктивном характере нагрузки.

Последовательная и параллельная схемы замещения представлены соответственно на рис. 5.1, а, б.

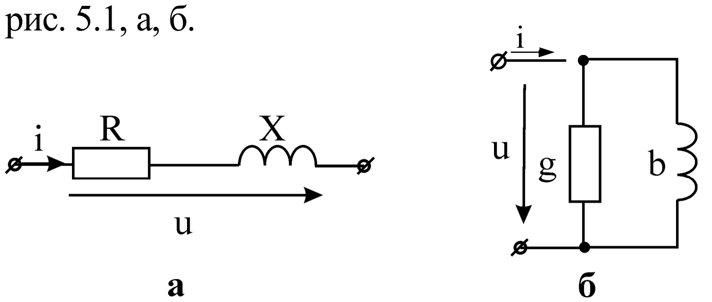


Рис. 5.1

Пример 5.2

Определить токи в схеме (рис. 5.2, а), если известно, что $U = 25$ В, $R = 5$ Ом, $X_C = 5$ Ом, $X_L = 2{,}5$ Ом.

Составить баланс мощностей, построить топографическую диаграмму напряжений.

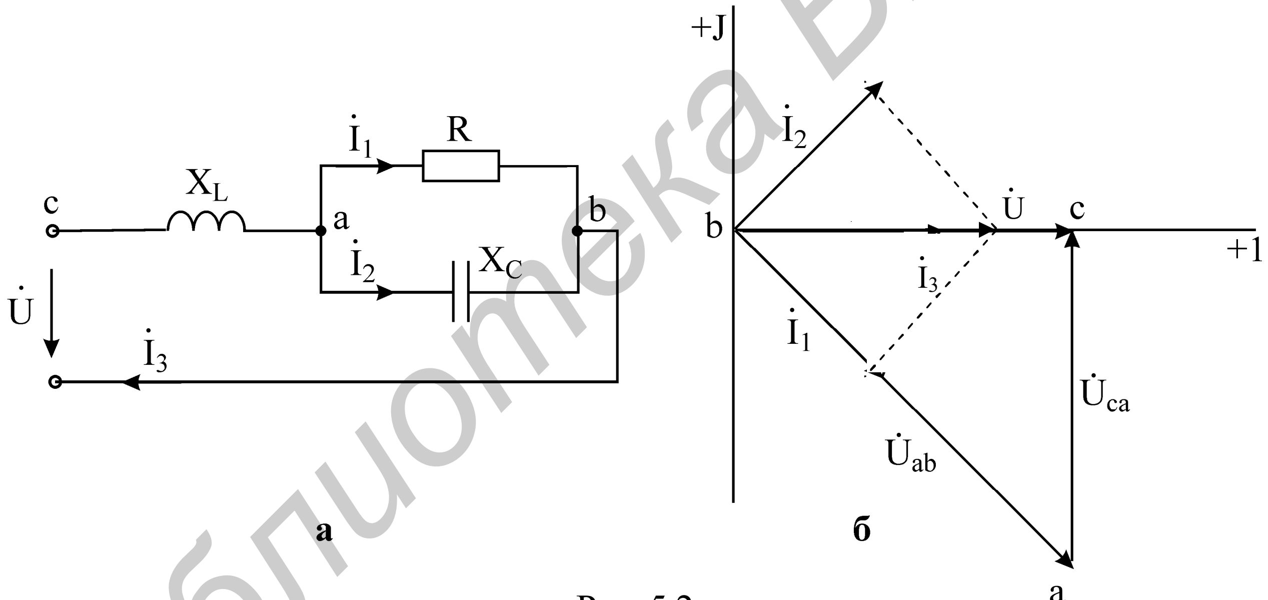


Рис. 5.2

Используем метод эквивалентных преобразований. Заменяем параллельные ветви одной эквивалентной ветвью с сопротивлением Z_{AB}:

$$Z_{AB} = \frac{R(-jX_C)}{R - jX_C} = \frac{5(-5j)}{5 - 5j} = 3{,}536e^{-j45^\circ} = 2{,}5 - 2{,}5j\,\text{Ом}\ .$$

Участки ca и ab соединены последовательно, поэтому входное сопротивление цепи:

$$Z_{BX} = Z_{CA} + Z_{AB} = 2{,}5j + 2{,}5 - 2{,}5j = 2{,}5\ \text{Ом}.$$

Поскольку входное сопротивление является активным, в цепи установился резонанс напряжений.

Находим токи:

$$\dot{I}_3 = \dot{U}/Z_{BX} = 25/2{,}5 = 10\ \text{A};$$

$$\dot{U}_{ca} = jX_L\dot{I}_3 = 25j = 25e^{j90^\circ}\ \text{B};$$

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U} - \dot{U}_{ca} = 25 - 25j = 35{,}36e^{-j45^\circ}\ \text{B};$$

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_{ab}/R = 5 - 5j = 7{,}071e^{-j45^\circ}\ \text{A};$$

$$\dot{I}_2 = \dot{U}_{ab}/(-jX_C) = 5 + 5j = 7{,}071e^{j45^\circ}\ \text{A}.$$

Составим баланс мощностей. Активная мощность источника

$$P_{ИСТ} = U \cdot I_3 \cdot \cos(\widehat{UI_3}) = 25 \cdot 10 \cdot \cos 0^\circ = 250\ Вт\ .$$

Реактивная мощность источника

$$Q_{ИСТ} = U \cdot I_3 \cdot \sin(\widehat{UI_3}) = 25 \cdot 7{,}071 \cdot \sin 0^\circ = 0.$$

Активная мощность приёмников

$$P_{ПР} = I_1^2 \cdot R = 7{,}071^2 \cdot 5 = 250\ \text{Вт}.$$

Реактивная мощность приёмников

$$Q_{ПР} = -I_2^2 \cdot X_C + I_3^2 X_L = -7{,}071^2 \cdot 5 + 10^2 \cdot 2{,}5 = 0\ .$$

Баланс мощностей выполняется: $P_{ИСТ} = P_{ПР}$, $Q_{ИСТ} = Q_{ПР}$, значит токи найдены правильно. Векторная диаграмма токов и топографическая диаграмма напряжений приведены на рис. 5.2, б. Масштабы: $M_I = 3{,}5\text{А/См}$, $M_U = 7\ \text{В/См}$.

Пример 5.3

Определить токи в ветвях, составить и рассчитать баланс мощностей для схемы на рис. 5.3, если известно, что $\dot{E}_3 = 10e^{j90^\circ}$, $R_3 = x_2 = 10\ \text{Ом}$, $x_1 = 5\ \text{Ом}$, $\dot{J}_1 = 1e^{j90^\circ}$.

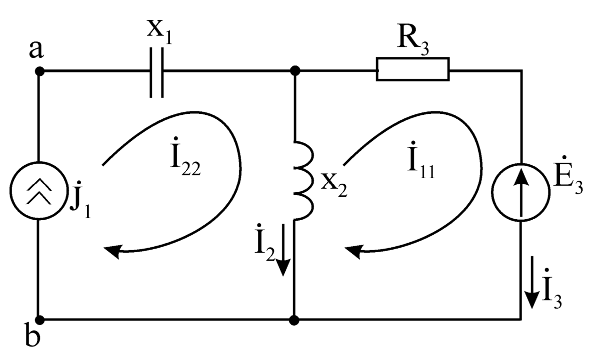


Рис. 5.3

Для расчета будем использовать метод контурных токов.
Значение контурного тока $\dot{I}_{22}$ принимаем равным величине источника тока $\dot{J}_1$.
Уравнение составляем для контурного тока $\dot{I}_{11}$:

$$\dot{I}_{11}(R_3 + jx_2) - \dot{I}_{22}jx_2 = -\dot{E}_3.$$

Выражаем ток $\dot{I}_{11}$ из предыдущего уравнения :

$$\dot{I}_{11} = \frac{\dot{I}_{22}jx_2 - \dot{E}_3}{R_3 + jx_2} = \frac{j1 \cdot j10 - j10}{10 + j10} = \frac{-10 - j10}{10 + j10} = -1\ \text{А}.$$

Ток в третьей ветви равен контурному току $\dot{I}_{11}$ ($\dot{I}_3 = \dot{I}_{11}$). Запишем ток $\dot{I}_3$ в показательной форме комплексного числа:

$$\dot{I}_3 = -1\ \text{А} = 1\, e^{j180^\circ}\ \text{А}.$$

Ток во второй ветви определим как алгебраическую сумму контурных токов, проходящих через данную ветвь :

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_{22} - \dot{I}_{11} = j1 + 1 = 1 + j1 = 1\sqrt{2}e^{j45^\circ}\ \text{А}.$$

Далее составим и рассчитаем баланс мощностей.
Полная мощность приемников определяется по формуле

$$\tilde{S}_{пр} = P_{пр} + jQ_{пр}.$$

Определим активную мощность приемников в рассчитываемой схеме :

$$P_{пр} = \left|\dot{I}_3\right|^2 R_3 = 1 \cdot 10 = 10\ \text{Вт}.$$

Реактивную мощность приемников определяем по формуле

$$Q_{пр} = \left|\dot{I}_2\right|^2 x_2 + \left|\dot{J}_1\right|^2 (-x_1) = 2 \cdot 10 - 5 = 15\ \text{ВАр}.$$

Полная мощность, выделяемая в схему источниками, определяется по формуле

$$\tilde{S}_{ист} = J_1\dot{U}_{ab} - \dot{E}_3 \overset{*}{I}_3 = -j1(-5 + j10) - j10(-1) = +j5 + 10 + j10 = 10 + j15,$$

где $\dot{U}_{ab} = -\dot{J}jx_1 + \dot{I}_2 jx_2 = -j1 \cdot j5 + (1 + j1)j10 = 5 + j10 - 10 = -5 + j10$ В.

Пример 5.4

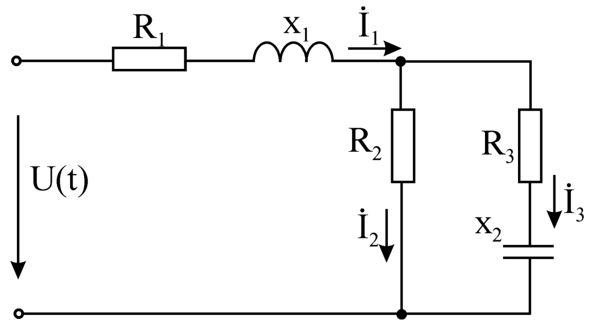


Рис. 5.4

Для схемы на рис. 5.4 рассчитать ток $\dot{I}_1$ в неразветвленной части схемы, если известно, что $U(t) = 10\sin(\omega t + 90^\circ)$ В; $R_1 = 2$ Ом; $x_1 = 2$ Ом; $R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 2$ Ом; $x_2 = 4$ Ом.

Записываем функцию времени $U(t) = 10\sin(\omega t + 90^\circ)$ в виде показательной формы комплексного числа:

$$\dot{U}_m = 10e^{j90^\circ}$$

Определяем входное сопротивление схемы относительно зажимов источника напряжения:

$$\dot{Z}_{общ} = R_1 + jx_1 + \frac{R_2(R_3 - jx_2)}{R_2 + R_3 - jx_2} = 2 + j2 + \frac{4 - j8}{4 - j4} = 2 + j2 + \frac{(4 - j8)(4 + j4)}{16 + 16} =$$

$$= 2 + j2 + \frac{16 - j32 + j16 + 32}{16 + 16} = 2 + j2 + \frac{48 - j16}{32} = 2 + j2 + 1{,}5 - j0{,}5 =$$

$$= 3{,}5 - j1{,}5 = 3{,}8e^{-j2{,}5^\circ}.$$

Ток $\dot{I}_1$ в неразветвленной части схемы определим по закону Ома:

$$\dot{I}_{1m} = \dot{U}_m / \dot{Z}_{общ} = \frac{10e^{j90^\circ}}{3{,}8e^{-j2{,}5}} = 2{,}63e^{j92{,}5^\circ} \text{ А.}$$

Пример 5.5

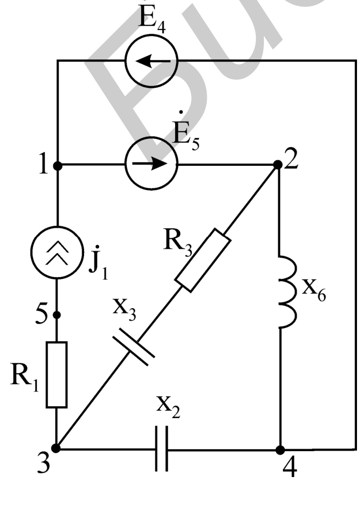
Для схемы на рис. 5.5 определить напряжение U_{31} и записать его мгновенное значение, если известно, что $\dot{E}_5 = 10\sqrt{2}e^{j45^\circ}$, $\dot{E}_4 = 10e^{j90^\circ}$, $\dot{J}_1 = 5$ А,

Решим задачу, используя метод узловых напряжений
$R_3 = 2$ Ом, $x_3 = 2$ Ом, $x_6 = 4$ Ом, $R_1 = 2$ Ом, $x_2 = 2$ Ом.

За базисный принимаем 1-й узел ($\dot{\varphi}_1 = 0$).
Потенциалы 2-го и 4-го узлов будут соответственно равны

$$\dot{\varphi}_2 = \dot{E}_5 \quad \dot{\varphi}_4 = -\dot{E}_4.$$

Уравнение составляем для 3-го узла:



$$\dot{\varphi}_3\left(\frac{1}{-jx_2} + \frac{1}{R_3 - jx_3}\right) - \dot{\varphi}_2\frac{1}{R_3 - jx_3} + \dot{\varphi}_4\frac{1}{-jx_2} = -\dot{J}_1.$$

Подставив в предыдущее уравнение численные значения, получим:

$$\dot{\varphi}_3\left(\frac{1}{5e^{-j90^\circ}} + \frac{1}{2\sqrt{2}e^{-j45^\circ}}\right) - \frac{10\sqrt{2}e^{j45^\circ}}{2\sqrt{2}e^{j45^\circ}} + \frac{10e^{j90^\circ}}{5e^{-j90^\circ}} = -5,$$

$$\dot{\varphi}_3\left(0{,}2e^{j90^\circ} + 0{,}25\sqrt{2}e^{j45^\circ}\right) - 5e^{j90^\circ} + 2e^{j180^\circ} = -5,$$

Рис. 5.5

$$\dot{\varphi}_3\left(j0{,}2+0{,}25\sqrt{2}e^{j45^\circ}\right)-j5-2=-5,$$

$$\dot{\varphi}_3\left(j0{,}2+0{,}25+j0{,}25\right)=-3+j5.$$

Выразив из последнего равенства $\dot{\varphi}_3$, получим

$$\dot{\varphi}_3=\frac{-3+j5}{0{,}25+j0{,}45}=\frac{5{,}83e^{-j59^\circ}}{0{,}515e^{j61^\circ}}=11{,}32e^{-j120^\circ},$$

т.е. $\dot{U}_{31}=11{,}32e^{-j120^\circ}$.

Запишем мгновенное значение напряжения:

$$U_{31}(t)=11{,}32\sqrt{2}\sin\left(\omega t-120^\circ\right)\text{ В}.$$

Пример 5.6

На рис. 5.6 приведена схема электрической цепи с двумя источниками синусоидально изменяющихся ЭДС, $e_1=e_2=141\sin(\omega\cdot t)$ В, $X_1=5$ Ом, $X_2=20$ Ом, $R=3$ Ом.

Определить действующие значения токов ветвей методом узловых напряжений. Записать уравнения мгновенных значений токов ветвей.

Комплексы действующих значений ЭДС источников равны: $\dot{E}_1=\dot{E}_2=\dfrac{141}{\sqrt{2}}=100$ В.

Узловое напряжение $\dot{U}_{ab}$:

$$\dot{U}_{ab}=\frac{Y_1\dot{E}_1+Y_2\dot{E}_2}{Y_1+Y_2+Y}=\frac{\frac{1}{5j}100+\frac{1}{20j}100}{\frac{1}{j5}+\frac{1}{j20}+\frac{1}{3}}=\frac{25e^{-j90^\circ}}{0{,}417e^{-j36{,}87}}=60e^{-j53{,}13^\circ}=(36-j48)\text{ В}.$$

Применяя закон Ома, находим комплексы действующих значений токов ветвей:

$$\dot{I}=\frac{\dot{U}_{ab}}{R}=\frac{60e^{-j53{,}13^\circ}}{3}=20e^{j53{,}13^\circ}\text{ А};$$

$$\dot{I}_1=\frac{\dot{E}_1-\dot{U}_{ab}}{jx_1}=\frac{100-36+j48}{j5}=16e^{-j53{,}13^\circ}\text{ А};$$

$$\dot{I}_2=\frac{\dot{E}-\dot{U}_{ab}}{jx_2}=\frac{100-36+j48}{j20}=4e^{-j53{,}13^\circ}\text{ А}.$$

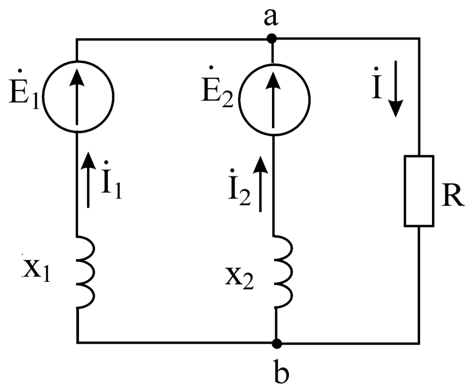


Рис. 5.6

Действующие значения токов ветвей:

$$I=20\text{ А},\ I_1=16\text{ А},\ I_2=4\text{ А}.$$

Уравнения мгновенных значений токов ветвей:

$$\dot{I} = 20\sqrt{2}\sin(\omega \cdot t - 53{,}13^\circ)\ \text{А};$$

$$\dot{I}_1 = 16\sqrt{2}\sin(\omega \cdot t - 53{,}13^\circ)\ \text{А};$$

$$\dot{I}_2 = 4\sqrt{2}\sin(\omega \cdot t - 53{,}13^\circ)\ \text{А}.$$

Пример 5.7

Графоаналитическим методом рассчитать токи и напряжения на участках цепи (рис. 5.7), если известно, что $C = 159$ мкФ, $L = 31{,}8$ мГн, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $\dot{E}_m = 100$ В, $f = 50$ Гц.

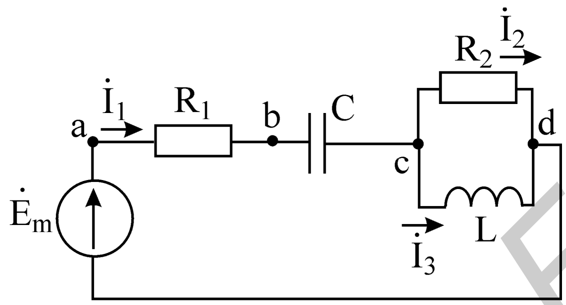


Рис. 5.7

Графоаналитический метод – совокупность графического метода и метода пропорционального пересчета. Метод основан на том, что в линейной цепи токи пропорциональны напряжениям. Векторная диаграмма напряжений и токов, рассчитанная и построенная для одного значения питающего цепь напряжения, сохранит свой вид при изменении величины этого напряжения, на диаграмме при этом изменятся лишь масштабы напряжений и токов.

Построение начинаем с наиболее удаленной точки цепи, соответствующей отрицательной полярности источника ЭДС:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 50 \cdot 159 \cdot 10^{-6}} = 20\ \text{Ом},$$

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 6{,}28 \cdot 50 \cdot 31{,}8 \cdot 10^{-3} = 10\ \text{Ом}.$$

Принимаем масштабы:

$$M_I = 0{,}2\ \text{А/См},\ M_U = 5\ \text{В/См}.$$

Задаемся действующим значением тока $I_2' = 1$ А. Вектор I_2' (рис. 5.8) откладывается в заданном масштабе в горизонтальном направлении. Вектор напряжения $\dot{U}'_{cd}$ на участке с активным сопротивлением R_2 совпадает по фазе с вектором тока $\dot{I}'_2$:

$$U'_{cd} = I'_2 R_2 = 10\ \text{В}.$$

Действующее значение тока I_3' находим по закону Ома:

$$I_3' = \frac{U_{cd}}{X_L} = \frac{10}{10} = 1\ \text{А}.$$

Ток на индуктивности отстает от напряжения на угол 90^0. Вектор тока I_3' строим из конца вектора $\dot{I}'_2$.

По первому закону Кирхгофа в комплексной форме определяем $\dot{I}'_1 = \dot{I}'_2 + \dot{I}'_3$, что соответствует сложению векторов на комплексной плоскости. Ток $I_1' = 1{,}4$ А (определен в масштабе диаграммы). Определяем и строим на диаграмме напряжения на участках b–c, a–b:

$$U_{bc}' = I_1' X_C = 28\ \text{В},$$

$$U_{ab}' = I_1' R_1 = 14\ \text{В}.$$

Вектор напряжения $\dot{U}'_{bc}$ отстает от тока $\dot{I}'_1$ на 90^0, строим этот вектор из точки **с** под углом 90^0 к току $\dot{I}'_1$ в сторону отставания.

Напряжение $\dot{U}'_{ab}$ совпадает по фазе с током $\dot{I}'_1$, вектор $\dot{U}'_{ab}$ строим из точки **b** параллельно вектору тока $\dot{I}'_1$.

Теперь соединим начало координат (точку **d**) с точкой **a**, получим вектор приложенной к цепи ЭДС, равный 30 В (в масштабе диаграммы): $E_m' = 30\sqrt{2}$ В. Истинные значения токов и напряжений на участках цепи, обусловленных действием указанной в условии задачи ЭДС, равной 100 В, определим умножением величин на коэффициент пересчета:

$$K = \frac{E_m}{E'_m} = \frac{100}{30\sqrt{2}} = 2{,}35.$$

Входная ЭДС имеет начальную фазу 0^0. С учетом этого построим систему координат, вещественная ось которой должна совпадать с вектором da. Относительно этой оси определим начальные фазы всех токов и напряжений.

Комплексы действующих значений искомых токов и напряжений следующие:

$$\dot{I}_2 = \dot{I}'_2 K = 2{,}35e^{j90^\circ}\ \text{А};$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}'_3 K = 2{,}35\ \text{А};$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}'_1 K = 3{,}29e^{j45^\circ}\ \text{А};$$

$$\dot{U}_{cd} = \dot{U}'_{cd} K = 23{,}5e^{j90^\circ}\ \text{В};$$

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}'_{bc} K = 65{,}8e^{-j45^\circ}\ \text{В};$$

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}'_{ab} K = 32{,}9e^{j45^\circ}\ \text{В}.$$

Построенная в такой последовательности диаграмма напряжений является топографической.

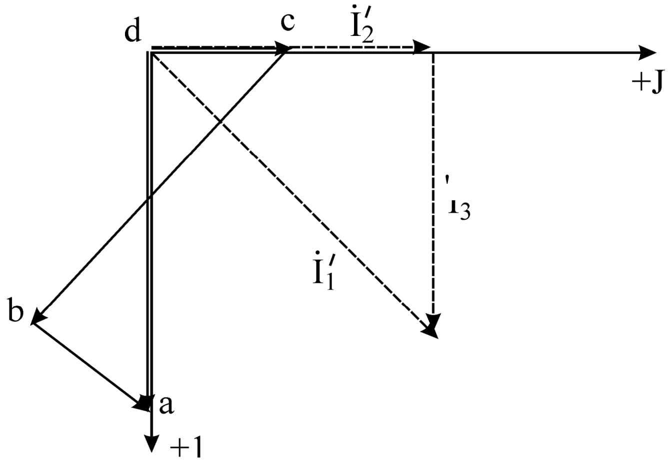


Рис. 5.8

Св. план 2007, поз. 55

Учебное издание

Расчет электрических цепей постоянного и однофазного синусоидального тока

Методическое пособие
по теории электрических цепей

Авторы-составители:

Батюков Сергей Валентинович

Иваницкая Наталия Александровна

Свито Игорь Леонтьевич

Редактор М. В. Тезина
Корректор Е. Н. Батурчик
Компьютерная верстка Е. Г. Бабичева

Подписано в печать 28.07.2008.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,74.
Уч.-изд. л. 1,6.	Тираж 600 экз.	Заказ 21.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6