

Министерство образования и науки Российской Федерации

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра ТОЭ

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к типовому расчету

«РАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

по дисциплине

« Теоретические основы электротехники »

Автор: доц. Чони Л.В.

Казань 2007

СОДЕРЖАНИЕ¹

	Стр.
Задание	3
Методические указания	3
Значения параметров схем	5
Варианты схем	6
Пример выполнения расчета	11
Контрольные вопросы	16
Оформление типовых расчетов	17
Список литературы	18
Приложение	19

¹ По электронной версии настоящих методических указаний **чрезвычайно удобно перемещаться**, открыв *Схему документа* в меню *Вид*. После этого достаточно кликнуть раздел, куда хотите попасть. Чтобы закрыть схему документа (например, для экономии площади экрана) можно повторно в меню *Вид* щелкнуть раздел *Схема документа* или сдвинуть до предела влево правую границу окна схемы документа.

ЗАДАНИЕ

1. Написать по законам Кирхгофа систему уравнений для определения неизвестных токов.
2. Определить токи во всех ветвях схемы методом контурных токов.
3. Составить баланс мощности.
4. Найти показания вольтметров.
5. Определить ток I_2 в ветви с сопротивлением R_2 и E_2 методом эквивалентного генератора.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1. Номер схемы соответствует порядковому номеру, под которым фамилия студента записана в групповом журнале.

2. Числовые данные параметров схем приведены в таблице 1 и выбираются в соответствии с номером группы.

3. При составлении уравнений по законам Кирхгофа в расчетной схеме определяем количество узлов y и ветвей ν . Обозначаем узлы буквами или цифрами. Показываем выбранные направления токов в ветвях. По первому закону Кирхгофа составляем $k_1 = y - 1$ независимых узловых уравнений. Положительными считаем токи, направленные от узлов. По второму закону Кирхгофа составляем $k_2 = \nu - k_1 = \nu - y + 1$ независимых контурных уравнений. Контур выбирается произвольно, но так, чтобы в каждый новый контур входила хотя бы одна новая ветвь. Напряжение на сопротивлении считается положительным, если направление тока в нем совпадает с направлением обхода контура; ЭДС считается положительной, если она направлена по направлению обхода контура.

4. При определении токов по методу контурных токов число уравнений равно k_2 . Направление обхода контура и направление контурного тока желательно выбрать одинаково. Ток источника тока J можно считать одним из известных контурных токов, проходящим по любым элементам схемы, образующих замкнутый контур с этим источником. При этом падение напряжения от протекающего тока J

учитывается в соответствии с общим правилом составления уравнений по методу контурных токов.

5. Баланс мощностей определяется по формуле $\sum P_{\text{ист}} = \sum RI^2$, где $\sum P_{\text{ист}}$ - алгебраическая сумма мощностей источников энергии (E и J), $\sum RI^2$ - сумма мощностей в сопротивлениях цепи. Мощность источника напряжения E определяется по формуле $P_E = \pm EI$, где I-ток, протекающий через источник. Если направления E и I совпадают, то произведение EI записывается со знаком плюс, если не совпадают, то - со знаком минус. Мощность источника тока J определяется по формуле $P_J = JU_{ab}$, где $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$, **a** – узел, к которому ток источника подтекает, **b** – узел, из которого этот ток вытекает.

6. Показание вольтметра определяется как абсолютное значение напряжения, найденное по закону Ома по любому пути, заключенному между точками, к которым присоединен вольтметр.

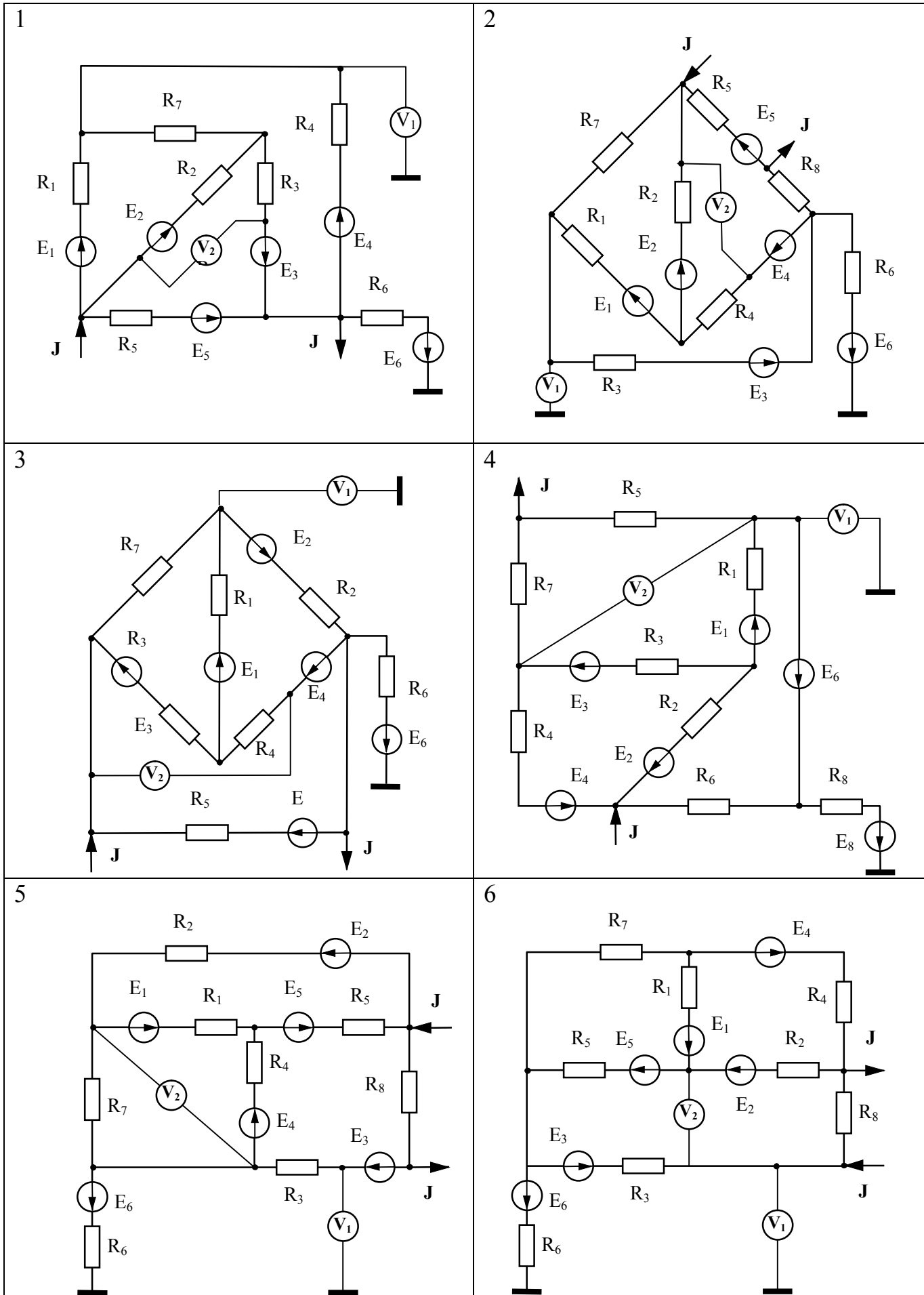
7. При выполнении п.5 задания ЭДС эквивалентного генератора определяется как напряжение в режиме холостого хода (отсутствие ветви с R_2 и E_2). При определении напряжения холостого хода расчет токов в оставшейся части схемы следует выполнить методом узловых потенциалов. Источник тока рекомендуется преобразовать в источник ЭДС E_J , что уменьшает число узлов в схеме. При этом $E_J = R \cdot J$, где R – сопротивление в параллельной с источником тока ветви, и направлена к узлу, куда втекает ток источника тока. Следует обратить внимание, что значение тока в ветви с R_2 и E_2 , рассчитанное методом контурных токов в п.2 и методом эквивалентного генератора в п. 5, должно быть одним и тем же.

Таблица 1. ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ

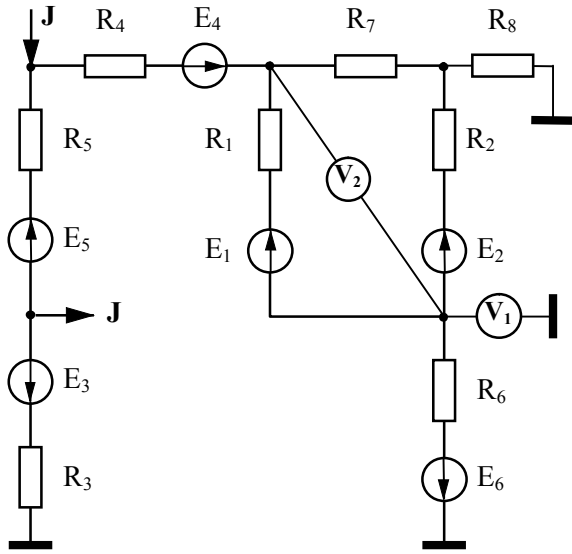
**Таблица 1
ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ**

№ группы	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	R ₅ , Ом	R ₆ , Ом	R ₇ , Ом	R ₈ , Ом	E ₁ , В	E ₂ , В	E ₃ , В	E ₄ , В	E ₅ , В	E ₆ , В	E ₇ , В	E ₈ , В	J, А
1	5	4	6	5	8	7	2	3	20	30	40	20	50	80	10	30	4
2	7	5	4	2	3	6	8	5	30	40	45	50	20	35	10	15	2
3	4	3	5	6	7	2	9	4	35	30	20	60	50	100	30	40	4
4	6	8	3	7	2	5	4	2	10	20	40	50	30	25	80	100	4
5	3	6	7	2	8	5	4	8	15	30	30	45	50	30	40	50	4
6	8	3	5	4	2	6	7	3	25	40	50	60	70	35	50	45	4
7	3	7	6	2	4	8	5	6	30	50	60	40	30	20	10	35	4
8	7	5	4	8	3	6	2	4	20	30	50	40	60	25	15	30	2
9	2	4	8	5	7	3	6	8	40	50	60	20	80	100	10	40	8
10	4	9	3	2	5	7	6	3	50	40	20	25	30	50	60	80	4
11	7	5	4	3	2	6	8	2	80	30	60	20	50	20	10	30	4
12	6	5	7	4	3	2	9	6	100	20	30	50	40	35	25	10	4
13	2	4	6	5	7	2	3	7	20	30	40	60	50	80	20	100	4
14	4	3	8	2	5	6	7	3	30	50	20	40	10	70	15	25	4
15	8	7	2	4	5	3	6	5	40	30	20	10	50	35	45	25	4
16	3	4	5	7	3	6	2	7	60	20	10	15	50	80	30	40	4
17	6	8	3	4	5	2	7	8	80	10	30	40	20	50	80	15	4
18	5	4	4	5	3	6	2	4	130	50	40	60	30	20	50	20	4

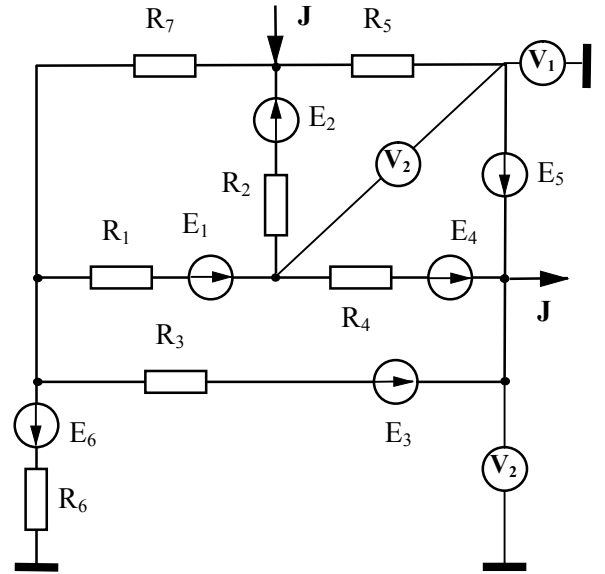
ВАРИАНТЫ СХЕМ



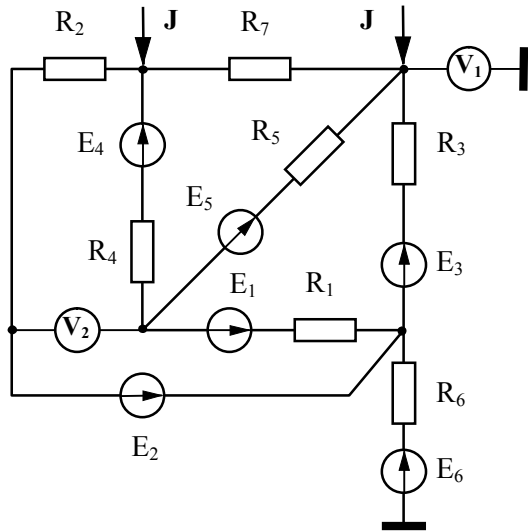
7



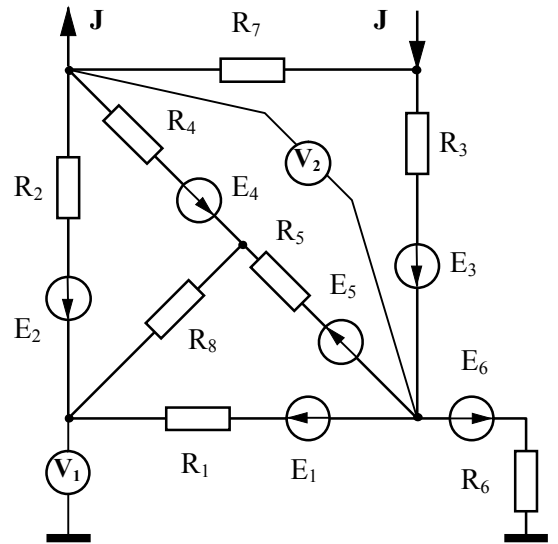
8



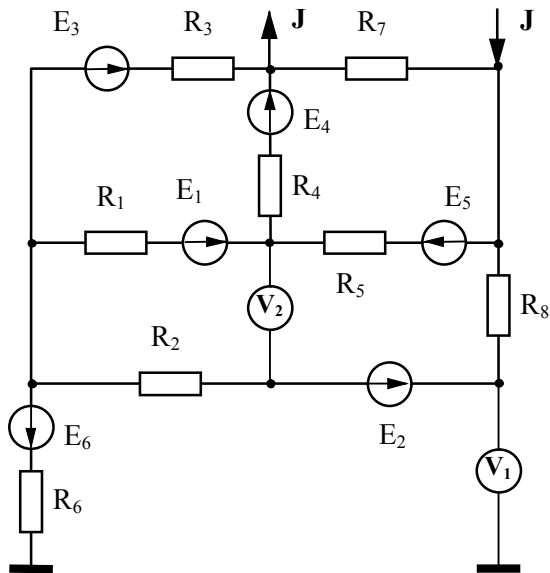
9



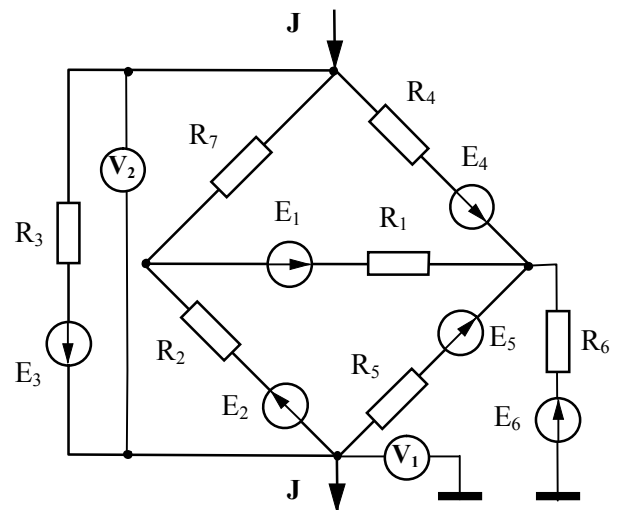
10



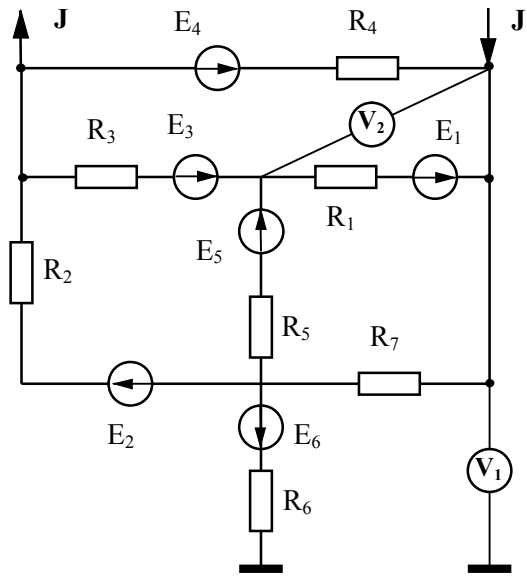
11



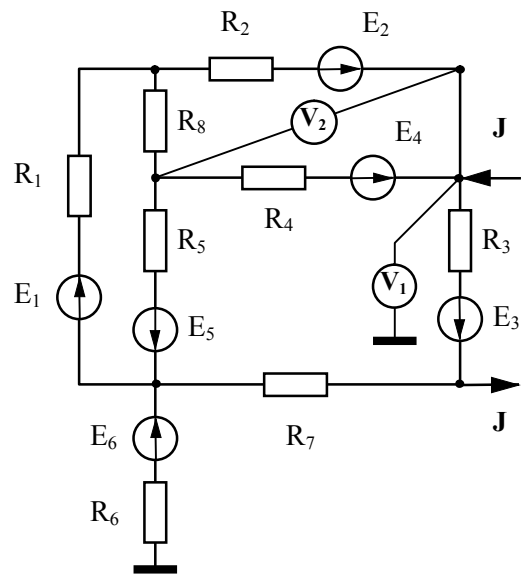
12



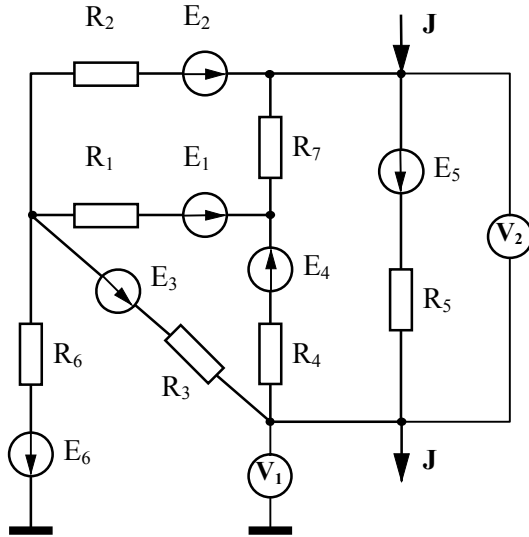
13



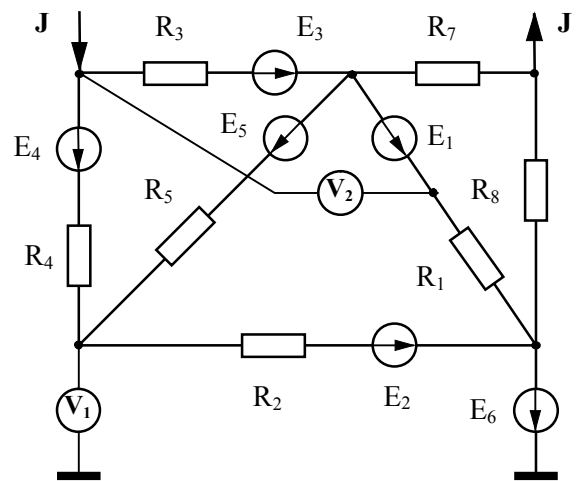
14



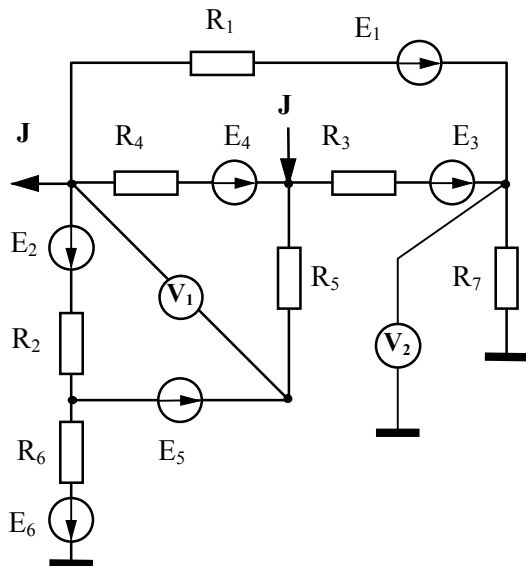
15



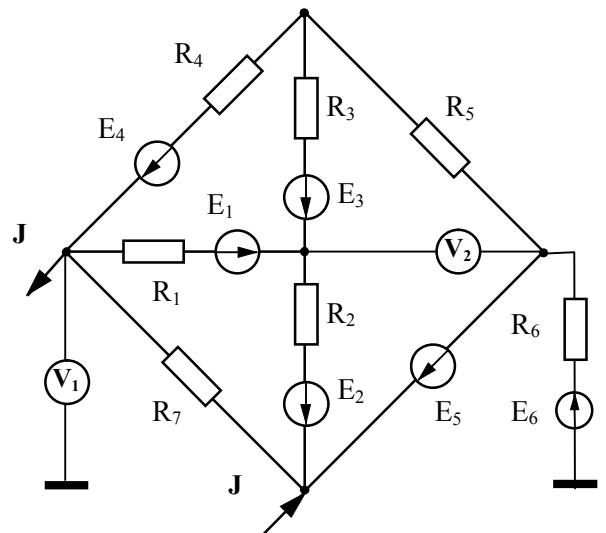
16



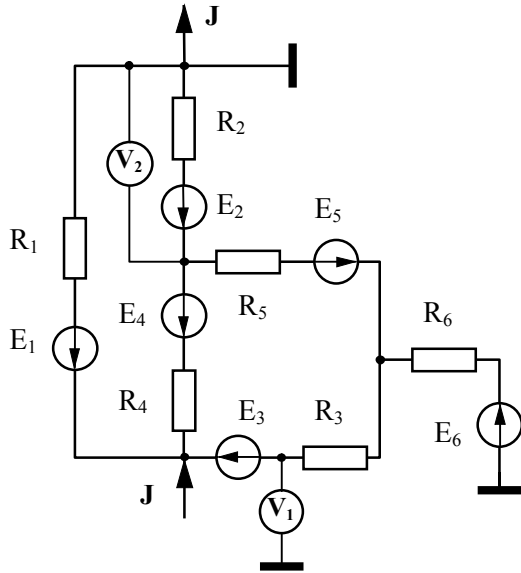
17



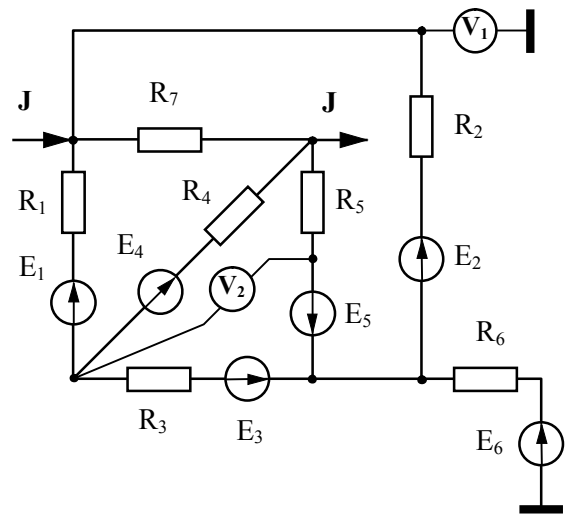
18



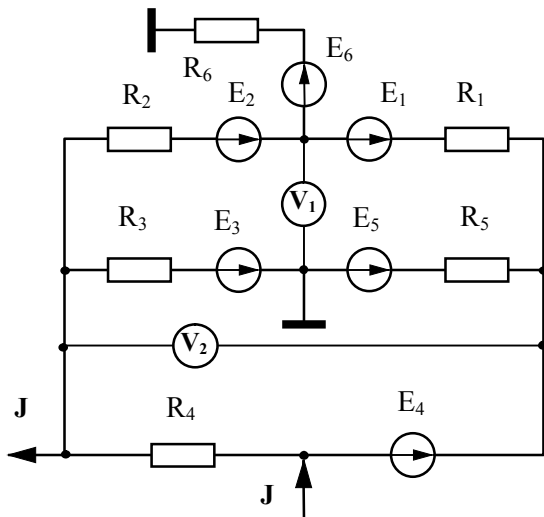
19



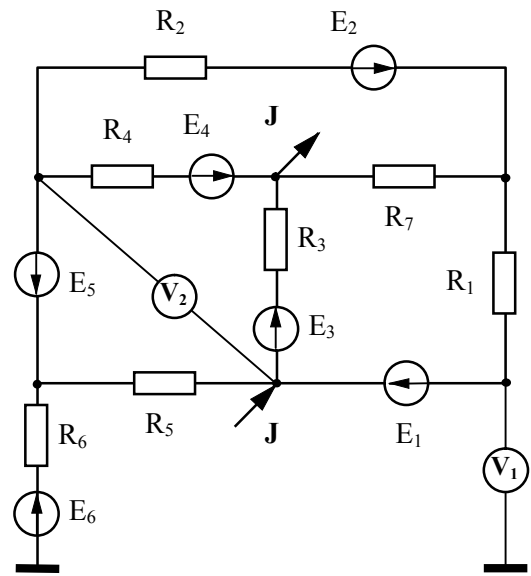
20



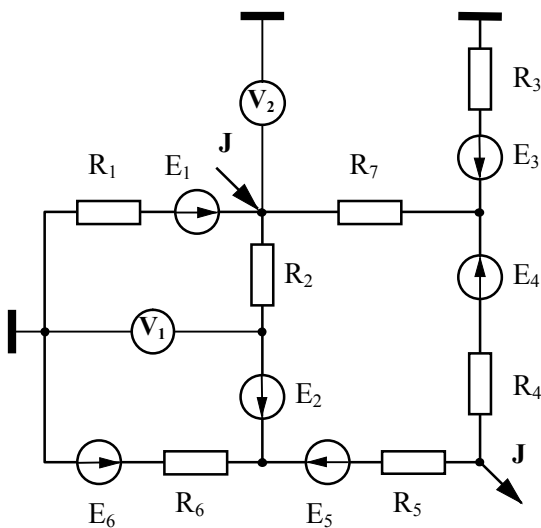
21



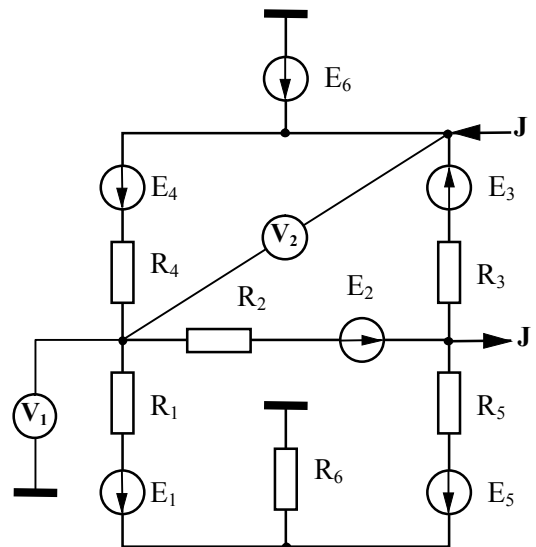
22



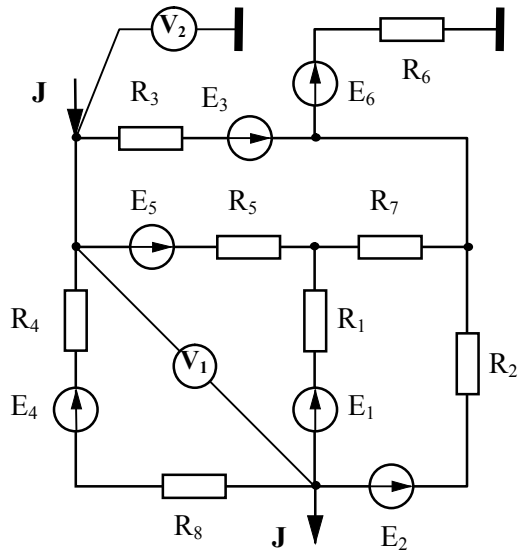
23



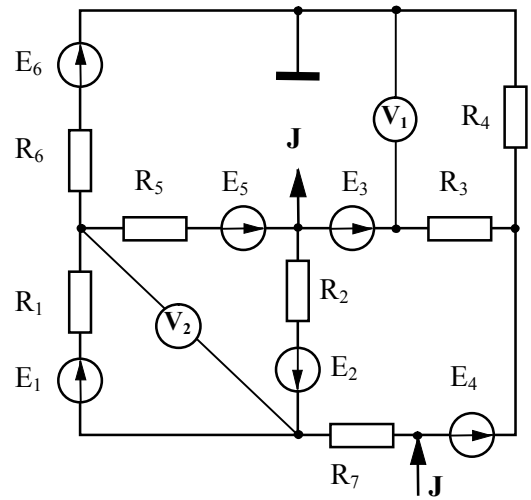
24



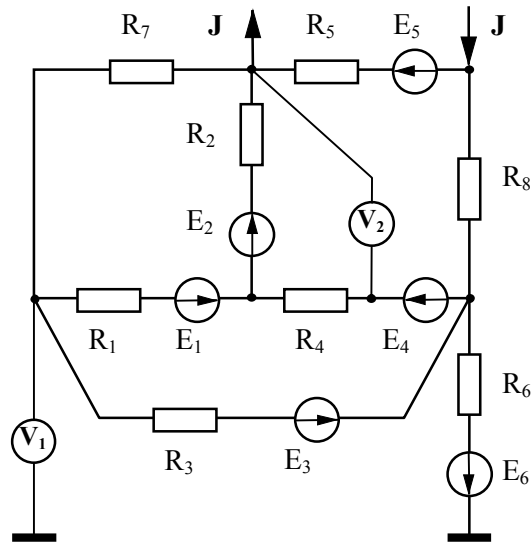
25



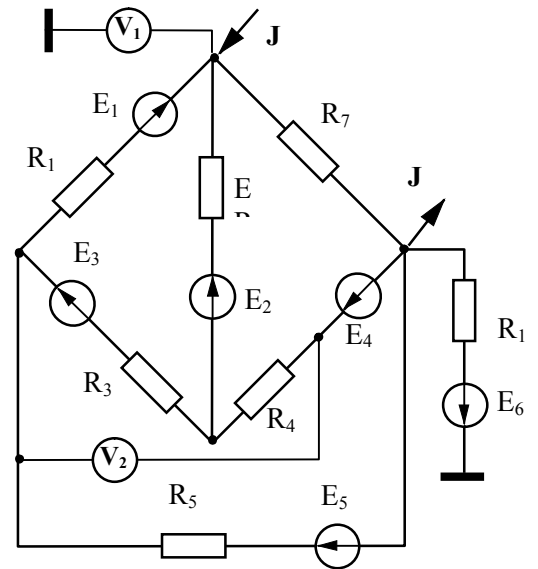
26



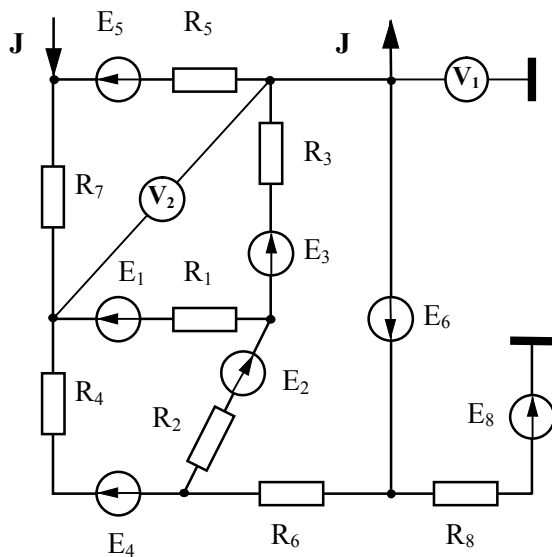
27



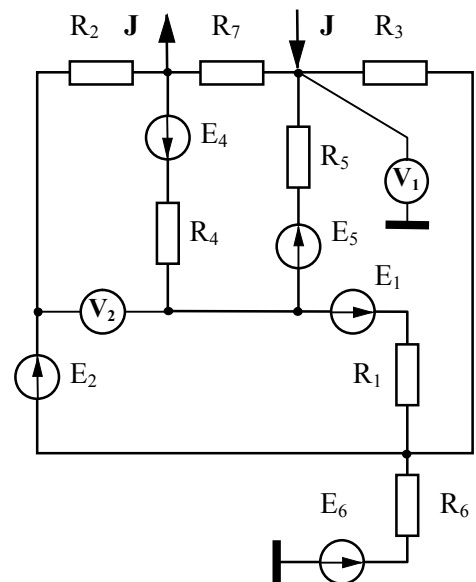
28



29



30



ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА

Схема

Рассмотрим в качестве примера расчет электрической цепи, схема которой приведена на рис. 1.

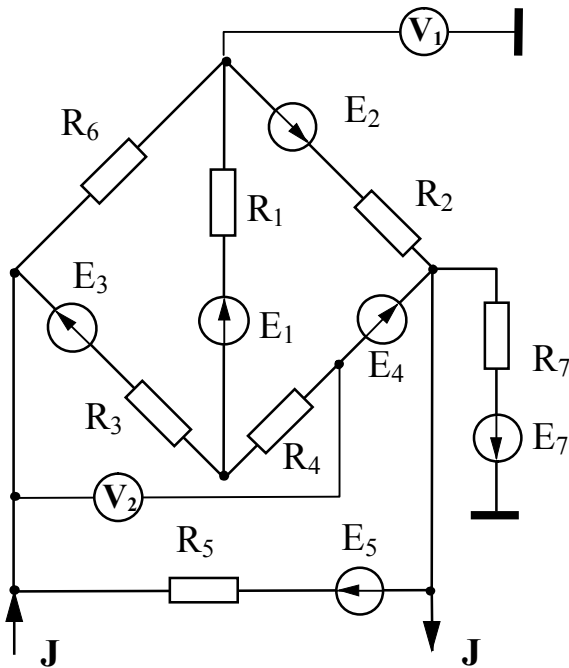


Рис. 1

Параметры схемы:

$$R_1=R_4=5 \text{ Ом}$$

$$R_2=R_3=R_6=4 \text{ Ом}$$

$$R_5=3 \text{ Ом}$$

$$R_7=6 \text{ Ом}$$

$$E_1=42 \text{ В}$$

$$E_2=50 \text{ В}$$

$$E_3=40 \text{ В}$$

$$E_4=60 \text{ В}$$

$$E_5=E_7=20 \text{ В}$$

$$J=4 \text{ А}$$

В схеме четыре узла ($y = 4$) и шесть ветвей, не содержащих источников тока ($b = 6$). Это ветви, состоящие из элементов: R_1 и E_1 , R_2 и E_2 , R_3 и E_3 , R_4 и E_4 , R_5 и E_5 , R_6 . В ветви с элементами R_7 и E_7 тока нет, так как она замыкается на ветвь с вольтметром, сопротивление которого теоретически считается бесконечно большим. Задачей расчета является определение неизвестных токов I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 , и I_6 . Нумерация узлов, произвольно выбранные положительные направления токов и обходов контуров показаны на рис. 2.

1. Уравнения по законам Кирхгофа

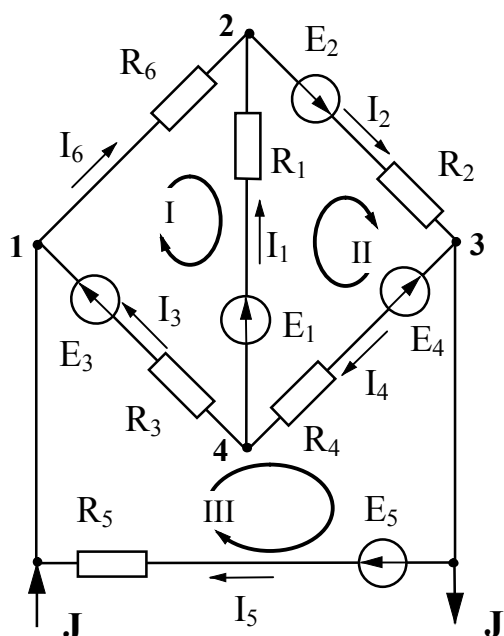


Рис. 2

По первому закону Кирхгофа составляем независимые узловые уравнения, число которых равно

$k_1 = y - 1 = 4 - 1 = 3$, для узлов **1**, **2** и **3**:

$$-I_3 - I_5 - J + I_6 = 0,$$

$$-I_1 + I_2 - I_6 = 0,$$

$$-I_2 + I_4 + I_5 + J = 0.$$

По второму закону Кирхгофа составляем k_2 контурных уравнений

($k_2 = \nu - y + 1 = 6 - 4 + 1 = 3$). Для контуров I, II, III уравнения имеют вид:

$$-R_1 I_1 + R_3 I_3 + R_6 I_6 = -E_1 + E_3,$$

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_4 I_4 = E_1 + E_2 - E_4, \quad -R_3 I_3 - R_4 I_4 + R_5 I_5 = -E_3 + E_4 + E_5.$$

2. Определение токов методом контурных токов

Контурные и направления контурных токов в них показаны на схеме рис. 3.

Контур с известным контурным током J проведем по ветви с элементами R_5 , E_5 .

Система уравнений для контурных токов I_{11} , I_{22} и I_{33} имеет вид:

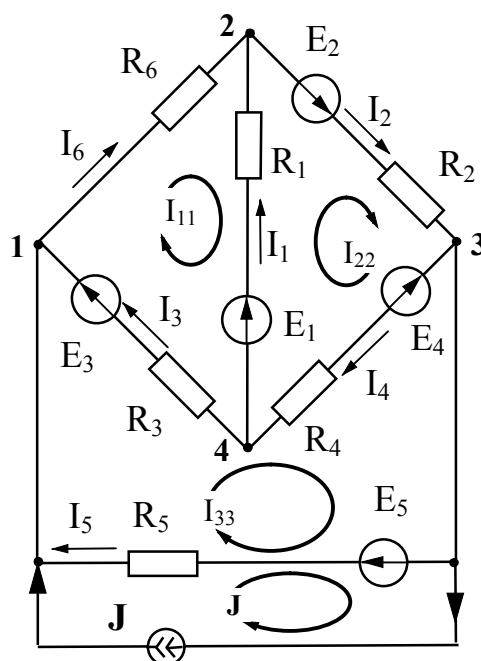


Рис. 3

$$\begin{cases} (R_1 + R_3 + R_6)I_{11} - R_1 I_{22} - R_3 I_{33} = -E_1 + E_3 \\ -R_1 I_{11} + (R_1 + R_2 + R_4) I_{22} - R_4 I_{33} = E_1 + E_2 - E_4 \\ -R_3 I_{11} - R_4 I_{22} + (R_3 + R_4 + R_5) I_{33} - R_5 J = -E_3 + E_4 + E_5 \end{cases}$$

Подставив известные числовые значения, получим:

$$\begin{cases} 13 I_{11} - 5 I_{22} - 4 I_{33} = -2 \\ -5 I_{11} + 14 I_{22} - 5 I_{33} = 32 \\ -4 I_{11} - 5 I_{22} + 12 I_{33} = 52 \end{cases}$$

Откуда значения контурных токов: $I_{11} = 5,7 \text{ А}$, $I_{22} = 7,7 \text{ А}$, $I_{33} = 9,45 \text{ А}$.

Определим токи в ветвях: $I_1 = -I_{11} + I_{22} = 2 \text{ А}$, $I_2 = I_{22} = 7,7 \text{ А}$,

$I_3 = I_{11} - I_{33} = -3,75 \text{ А}$, $I_4 = I_{22} - I_{33} = -1,75 \text{ А}$, $I_5 = I_{33} - J = 5,45 \text{ А}$, $I_6 = I_{11} = 5,7 \text{ А}$.

Если токи рассчитаны методом контурных токов, то первый закон Кирхгофа для всех узлов цепи выполняется автоматически. Чтобы убедиться в том, что токи найдены верно, проверим тождественность уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа для контуров I, II и III, подставив в них числовые значения:

$$5 \cdot 2 + 4 \cdot (-3,75) + 4 \cdot 5,7 = -42 + 40 \quad \text{или} \quad -2,2 \cong -2,$$

$$5 \cdot 2 + 4 \cdot 7,7 + 5 \cdot (-1,75) = 42 + 50 - 60 \quad \text{или} \quad 32,05 \cong 32,$$

$$-4 \cdot (-3,75) - 5 \cdot (-1,75) + 3 \cdot 5,45 = -40 + 60 + 20 \quad \text{или} \quad 40,1 \cong 40.$$

3. Баланс мощностей

Для схемы на рис. 3 уравнение баланса мощностей имеет вид:

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 - E_4 I_4 + E_5 I_5 + J(\varphi_1 - \varphi_2) = R_1 I_1^2 = R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2 + R_6 I_6^2,$$

где $\varphi_1 - \varphi_3 = E_5 - R_5 I_5 = 20 - 3 \cdot 5,45 = 3,65 \text{ В}$. Левая часть уравнения учитывает мощности источников, правая – мощности, потребляемые сопротивлениями.

Подставив численные значения, получим для левой части:

$$42 \cdot 2 + 50 \cdot 7,7 + 40 \cdot (-3,75) - 60 \cdot (-1,75) + 20 \cdot 5,45 + 4 \cdot 3,65 = 547,6 \text{ Вт},$$

для правой: $5 \cdot 2^2 + 4 \cdot 7,7^2 + 4 \cdot 3,75^2 + 5 \cdot 1,75^2 + 3 \cdot 5,45^2 + 4 \cdot 5,75^2 = 547,8 \text{ Вт}$.

Таким образом $547,6 \cong 547,8$.

4. Показания вольтметров

Напряжение, измеряемое вольтметром V_1 , включенным как показано на рис. 1, равно: $|U_{V_1}| = |-E_2 + R_2 I_2 - E_7| = |-50 + 4 \cdot 7,7 - 20| = 39,2 \text{ В}$.

Для вольтметра V_2 : $|U_{V_2}| = |E_3 - R_3 I_3 - R_4 I_4| = |40 - 4 \cdot (-3,75) - 5 \cdot (-1,75)| = 63,75 \text{ В}$.

5. Определение тока I_2 методом эквивалентного генератора

В схеме (рис. 2) удалим ветвь с элементами R_2 и E_2 . Оставшуюся схему (рис.4) заменим относительно точек **2**, **3** ветвью с эквивалентным генератором, ЭДС которого $E_{ЭГ}$ и внутреннее сопротивление R_B . Определим $E_{ЭГ}$ как напряжение

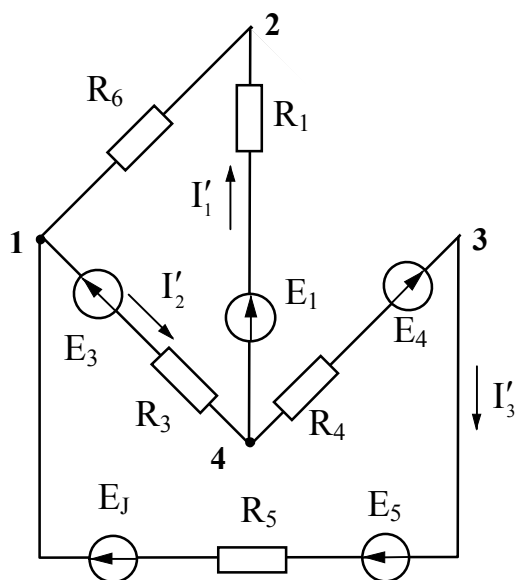


Рис. 4

между точками **2** и **3** в схеме рис. 4, для чего вычислим токи I'_1 и I'_3 либо I'_2 и I'_3 методом узловых потенциалов. Источник тока J в схеме преобразован в эквивалентный источник ЭДС E_J , величина которого определена как $E_J = R_5 J = 12 \text{ В}$, а направление выбрано к узлу **1**. В схеме (рис. 4) два узла (**1** и **4**) и три ветви: первая - с элементами R_6 , R_1 , E_1 и током I'_1 , вторая - с элементами R_3 , E_3 и током I'_2 , третья - с элементами R_4 , E_4 , E_5 , R_5 , E_J и током I'_3 . Примем потенциал узла **4** равным

нулю ($\varphi_4 = 0$). Для определения потенциала узла **1** уравнение имеет вид:

$$\varphi_1 \left(\frac{1}{R_1 + R_6} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5} \right) = \frac{E_1}{R_1 + R_6} + \frac{E_3}{R_3} + \frac{E_4 + E_5 + E_J}{R_4 + R_5}.$$

Подставив известные численные значения, получим:

$$\varphi_1 \left(\frac{1}{5+4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5+3} \right) = \frac{42}{5+4} + \frac{40}{4} + \frac{60+20+12}{5+3},$$

откуда $\varphi_1 = 53,8$ В. Определим токи I'_1 и I'_3 :

$$\varphi_1 = -I'_1(R_1 + R_6) + E_1, \text{ откуда } I'_1 = \frac{E_1 - \varphi_1}{R_1 + R_6} = \frac{42 - 53,8}{5 + 4} = -1,314 \text{ А};$$

$$\varphi_1 = -I'_3(R_4 + R_5) + E_4 + E_5 + E_J, \text{ откуда } I'_3 = \frac{E_4 + E_5 + E_J - \varphi_1}{R_4 + R_5} = 4,775 \text{ А}.$$

Уравнение для определения $E_{ЭГ}$ имеет вид: $E_{ЭГ} = U_{23} = -R_1 I'_1 + E_1 + R_4 I'_3 - E_4$.

Подставив числовые значения, получим $E_{ЭГ} = -5(-1,314) + 42 + 5 \cdot 4,775 - 60 = 12,8$ В.

Направлено $E_{ЭГ}$ в точку 2.

Схема для определения сопротивления R_B изображена на рис. 5.

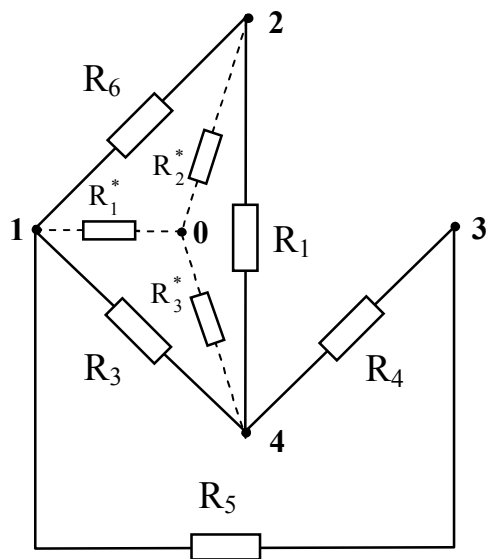


Рис. 5

Преобразуем треугольник сопротивлений R_1 ,

R_3, R_6 в звезду сопротивлений R_1^*, R_2^*, R_3^* :

$$R_1^* = \frac{R_3 \cdot R_6}{R_1 + R_3 + R_6} = \frac{4 \cdot 4}{5 + 4 + 4} = 1,23 \text{ Ом},$$

$$R_2^* = \frac{R_1 R_6}{R_1 + R_3 + R_6} = \frac{5 \cdot 4}{5 + 4 + 4} = 1,54 \text{ Ом},$$

$$R_3^* = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3 + R_6} = \frac{5 \cdot 4}{5 + 4 + 4} = 1,54 \text{ Ом}.$$

На рис. 6 приведена схема после преобразования.

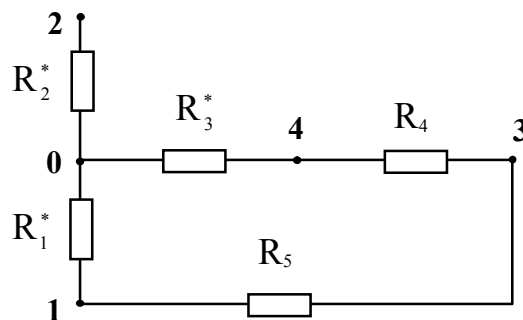


Рис. 6

Сопротивление R_B определим по формуле для смешанного последовательного и параллельного соединения элементов относительно зажимов 2-3:

$$R_B = R_2^* + \frac{(R_3^* + R_4)(R_1^* + R_5)}{R_3^* + R_4 + R_1^* + R_5} = 1,54 + \frac{(1,54 + 5)(1,23 + 3)}{1,54 + 5 + 1,23 + 3} = 4,1 \text{ Ом.}$$

Схема для определения тока I_2 изображена на рис. 7.

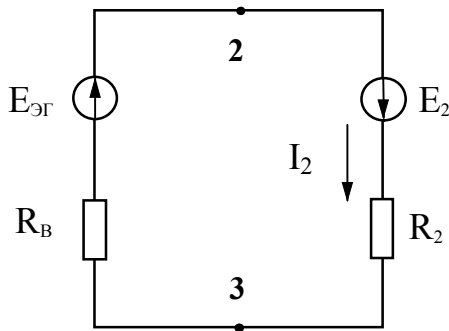


Рис. 7

Определим ток I_2 :

$$I_2 = \frac{E_{ЭГ} + E_2}{R_2 + R_B} = \frac{12,8 + 50}{4 + 4,1} = 7,75 \text{ А.}$$

Значение тока I_2 , рассчитанное по методу эквивалентного генератора, совпадает по величине с током I_2 , определенным по методу контурных токов: $7,75 \cong 7,7$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определяется узел, ветвь и контур электрической схемы ?
2. Как сформулировать закон Ома для ветви, содержащей элементы R и E ?
3. Сколько и как составляют уравнений по первому и второму закону Кирхгофа для определения токов в ветвях электрической цепи ?
4. Что понимают под последовательным и параллельным соединениями элементов в электрических цепях ? Приведите примеры.
5. Как преобразовать соединение элементов звездой в соединение элементов треугольником и наоборот?
6. Какие токи, напряжения и потенциалы остаются неизменными при преобразовании схемы?
7. Как записать уравнения для определения токов методом контурных токов?
8. Как определяют токи в ветвях методом узловых потенциалов?
9. Как найти параметры эквивалентного генератора $E_{ЭГ}$ и R_B ?
10. Как составить баланс мощностей для электрической цепи ?
11. Как определить показание вольтметра, включенного в схему ?

ОФОРМЛЕНИЕ ТИПОВЫХ РАСЧЕТОВ

По результатам выполнения типового расчета составляется отчет, который должен содержать титульный лист, задание, текст и цифровой материал, поясняющие методику и окончательные результаты. Отчет должен соответствовать следующим требованиям:

1. Отчет выполняется на листах формата А4.

2. На титульном листе следует указать название типового расчета, номер группы, фамилию и инициалы студента (см. приложение). На первом листе типового расчета должны быть приведены номер варианта, электрическая схема и текст задания.

3. Элементы электрических схем следует изображать в соответствии с ГОСТ 7624-62; буквенные обозначения, используемые в схеме и при решении задачи, выбирают в соответствии с ГОСТ 1497-77.

4. Начиная решение задачи, надо четко уяснить, какие физические законы или расчетные методы предполагается положить в основу решения, и привести математическую запись этих законов и методов; при этом решение задачи должно иллюстрироваться необходимыми электрическими схемами.

5. Используемые в расчетах величины должны иметь размерность в соответствии с международной системой единиц СИ (по ГОСТ 9867-61).

6. Если одна и та же задача решается двумя методами, то в обоих решениях одна и та же величина должна обозначаться одинаково.

7. Всякие преобразования до разумного предела следует выполнять в буквенных обозначениях и только затем подставлять численные значения и записывать окончательный результат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1 . - 4-е изд. / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман , Н.В. Коровкин, В.Л. Чепурин. –СПб.: Питер, 2003. – 463 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи: Учебник. – 10-е изд. –М.: Гардарики, 2002. – 638 с.
3. Атабеков Г.И. Линейные электрические цепи. – М.: Энергия, 1978. – 592 с.
4. Теоретические основы электротехники: Методические указания и контрольные задания для студентов тех. спец. вузов/ Л.А. Бессонов, И.Г. Демидова, М.Е. Заруди и др. – 3-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2003. – 159 с.

Приложение. Титульный лист

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра ТООЭ

ТИПОВОЙ РАСЧЕТ

по теме

«РАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

Выполнил

Студент _____

Группа _____

Дата _____

Казань 2007