

Министерство образования и науки Российской Федерации
Севастопольский государственный университет

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению расчетно-графических заданий
по дисциплине «Теоретические основы электротехники»
для студентов направления подготовки 26.05.06
«Эксплуатация судовых энергетических установок»
очной и заочной форм обучения

«Линейные электрические цепи постоянного тока»

Севастополь
2017

УДК 621.3.01

Методические указания к выполнению расчетно-графических заданий по дисциплине «Теоретические основы электротехники» / В.В. Костюков. – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2017.- 20 с., ил.

Методические указания предназначены для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 26.05.06 « Эксплуатация судовых энергетических установок».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры СЭО (протокол № 8 от 31.01.2017 г.).

Рецензент: Высоцкий В.Е., доктор технических наук, профессор

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Требования к выполнению расчетно-графического задания.....	4
2. Требования к оформлению расчетно-графического задания.....	5
3. Выбор исходных данных.....	5
4. Содержание расчетов.....	5
5. Пример выполнения расчетно-графического задания.....	8
5.1. Обозначение и нумерация элементов.....	8
5.2. Задание параметров элементов.....	9
5.3. Анализ электрической цепи	9
5.3.1. Составление системы уравнений по законам Кирхгофа.....	9
5.3.2 Анализ схемы методом контурных токов.....	10
5.3.3. Проверка метода контурных токов.....	11
5.3.4. Анализ схемы методом узловых потенциалов.....	12
5.3.5. Проверка метода узловых потенциалов.....	14
5.3.6. Анализ схемы методом наложения.....	14
5.3.7. Анализ схемы методом эквивалентного генератора.....	17
5.3.8. Баланс мощности.....	19
5.4. Сводная таблица результатов анализа различными методами.....	19
Библиографический список.....	20

ВВЕДЕНИЕ

Целью данных методических указаний является приобретение студентами умений и навыков самостоятельного анализа линейных электрических цепей постоянного тока.

Для успешного выполнения расчетно-графического задания студент должен понимать физический смысл таких электротехнических величин, как ток, напряжение, сопротивление, мощность.

Студент должен показать знание условно-графических обозначений электротехнических элементов и уметь определять по электротехническим схемам способы их соединения.

Для успешного выполнения расчетно-графического задания необходимо знание законов Ома и Кирхгофа, а также методов анализа линейных электрических цепей постоянного тока.

В расчетно-графическом задании должны использоваться общепринятые условные обозначения электротехнических величин:

I – ток;

U – напряжение;

R – сопротивление;

φ – потенциал;

G – проводимость;

P – мощность;

E – электродвижущая сила (ЭДС);

J – ток источника тока.

1. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

1.1. Расчет каждой искомой величины выполняется сначала в аналитическом виде. Затем в полученную формулу подставляются численные значения, и в конце приводится окончательный результат с указанием единицы измерения.

1.2. Все параметры, относящиеся к одной ветви (сопротивление, ток и т.д.), должны иметь одинаковый номер, который остается неизменным на протяжении выполнения всего расчетно-графического задания.

1.3. Основные положения расчета задания должны быть пояснены.

1.4. Вычисления должны быть выполнены с точностью до трех значащих цифр.

1.5. В ходе выполнения расчетно-графического задания не следует изменять уже выбранные направления токов, наименование величин, нумерацию узлов и условные обозначения.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

2.1. Расчетно-графическое задание оформляется на формате А4 с одной стороны листа аккуратным разборчивым почерком.

2.2. Каждый этап решения расчетно-графического задания озаглавляется.

2.3. Форма записи расчетов следующая: сначала формула в аналитическом виде, затем в той же последовательности - подставленные в нее численные значения и только после этого численный ответ.

2.4. Электрические схемы должны быть вычерчены под линейку с соблюдением условных графических обозначений элементов.

2.5. В конце расчетно-графического задания необходимо привести сводную таблицу результатов расчетов токов различными методами.

3. ВЫБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

3.1. На схеме (рисунок 3.1), номер которой соответствует номеру фамилии студента в журнале преподавателя, обозначить и пронумеровать с учетом пункта 1.2 все элементы.

3.2. Принять следующие параметры элементов схемы:

$$R_k = k \text{ Ом};$$

$$J_k = m \text{ А};$$

$$E_k = k \cdot 5 \text{ В};$$

где k – номер элемента;

m – номер группы в потоке.

4. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТОВ

4.1. В исходной схеме произвольно (кроме ветви с источником тока) выбрать направление токов в ветвях. В соответствии с п. 1.2 пронумеровать токи.

Записать (не решая) необходимую для определения токов во всех ветвях систему уравнений по законам Кирхгофа.

4.2. Воспользовавшись методом контурных токов, найти токи во всех ветвях.

4.3. Проверить метод контурных токов, используя составленные в п. 4.1. уравнения по второму закону Кирхгофа.

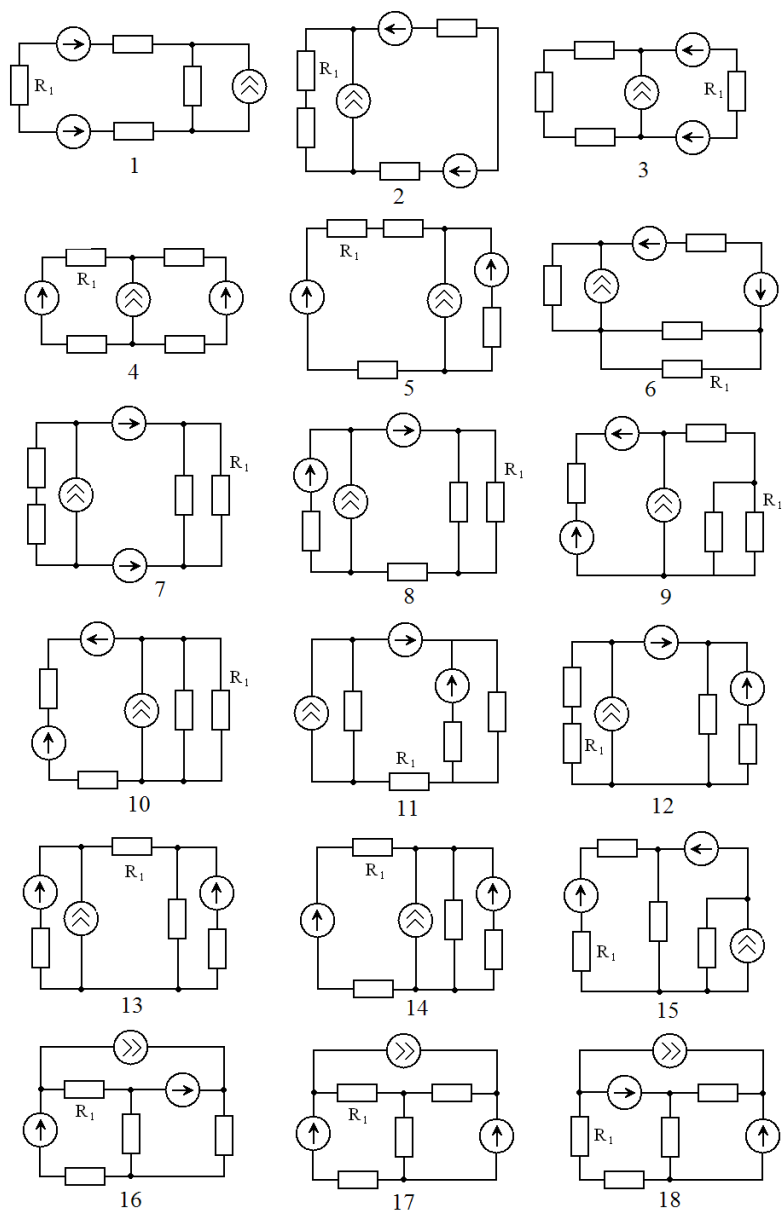
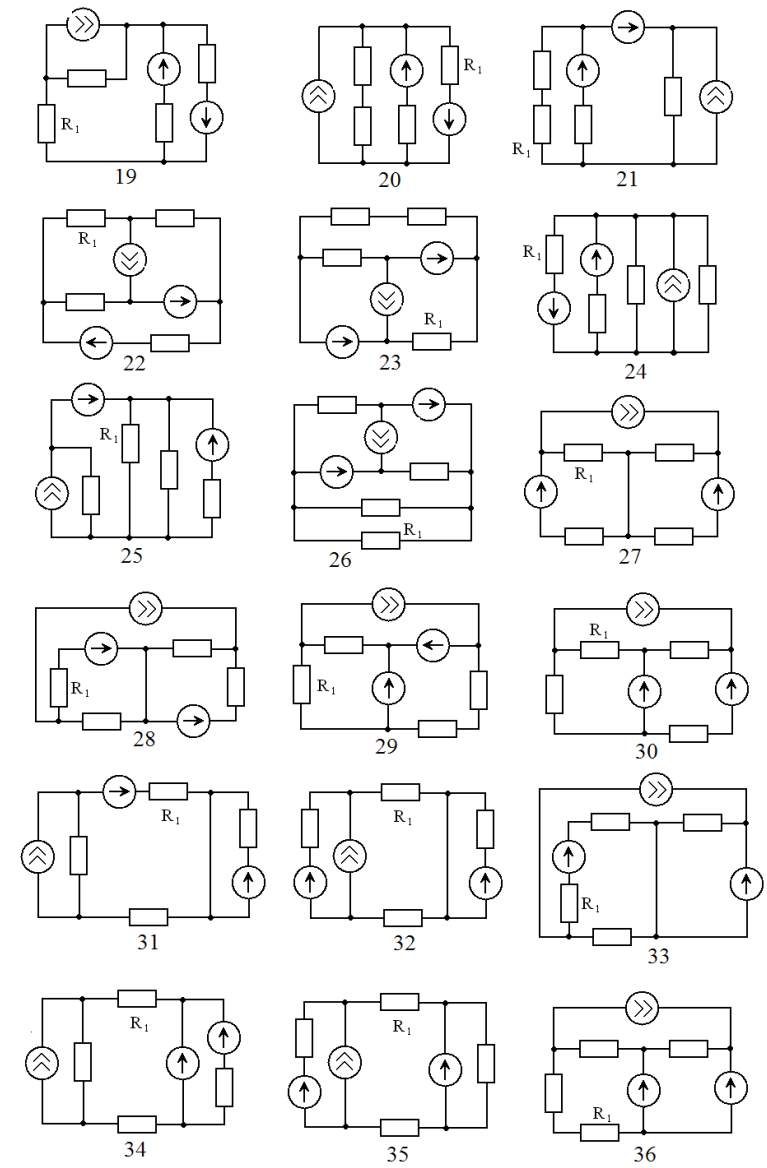


Рисунок 3.1 – Варианты заданий



Продолжение рисунка 3.1

4.4. Найти токи всех ветвей, пользуясь методом узловых потенциалов.

4.5. Проверить метод узловых потенциалов, используя составленные в п. 4.1 уравнения по первому закону Кирхгофа.

4.6. Определить токи ветвей методом наложения.

4.7. Определить ток в резисторе R_1 методом эквивалентного генератора.

4.8. Для заданной схемы составить баланс мощности.

5. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ «АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

Схема варианта задания представлена на рисунке 5.1.

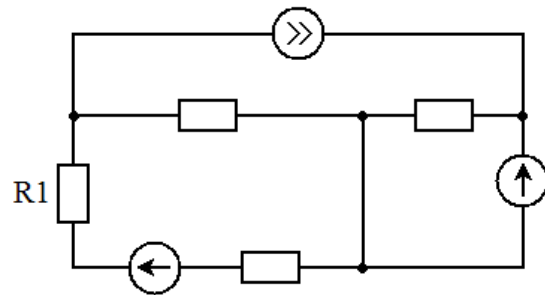


Рисунок 5.1 – Исходная схема варианта задания

5.1. В соответствии с п. 3.1 и с учетом п. 1.2 обозначим и пронумеруем все элементы схемы – рисунок 5.2.

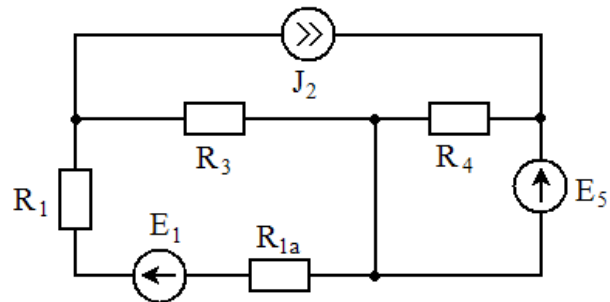


Рисунок 5.2 – Схема варианта задания с обозначенными элементами

5.2. Предположительно для группы ЭУ/с-22-о (группа в потоке имеет номер 2, т.е. $m=2$) в соответствии с п. 3.2 задаем параметры элементов схемы:

$$\begin{aligned} R_1 &= 1 \text{ Ом}; & R_3 &= 3 \text{ Ом}; \\ R_{1a} &= 1 \text{ Ом}; & R_4 &= 4 \text{ Ом}; \\ E_1 &= 1 \cdot 5 = 5 \text{ В}; & E_5 &= 5 \cdot 5 = 25 \text{ В}; \\ J_2 &= m = 2 \text{ А}. \end{aligned}$$

5.3. Анализ электрической цепи

5.3.1. В соответствии с п. 4.1 запишем (не решая) систему уравнений по законам Кирхгофа, необходимую для определения токов в ветвях

а) в соответствии с п. 4.1 выбираем произвольно (кроме ветви с источником тока) направления токов в ветвях. В ветви с источником тока (J_2) направление тока должно совпадать со стрелкой источника тока. Нумеруем выбранные токи. Причем номер тока в ветви должен совпадать с номером элементов в данной ветви – рисунок 5.3.

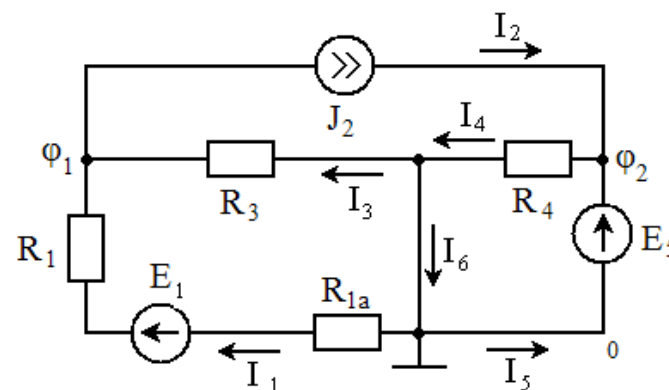


Рисунок 5.3 – Схема варианта задания с выбранными направлениями токов в ветвях

б) в заданной схеме подсчитываем B – количество ветвей, Y – количество узлов, T – количество ветвей с источником тока:

$$B = 6;$$

$$Y = 4;$$

$$T = 1;$$

в) подсчитываем количество уравнений, составляемых по первому (N_1) и по второму (N_2) законам Кирхгофа

$$N_1 = Y - 1 = 4 - 1 = 3;$$

$$N_2 = B - Y + 1 - T = 6 - 4 + 1 - 1 = 2;$$

г) для трех верхних узлов составляем уравнения по первому закону Кирхгофа

$$-I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_3 - I_4 + I_6 = 0$$

$$-I_2 + I_4 - I_5 = 0;$$

д) для двух нижних контуров, обходя их по часовой стрелке, составляем уравнения по второму закону Кирхгофа

$$U_{1a} + U_1 - U_3 = E_1;$$

$$-U_4 = -E_5;$$

5.3.2. В соответствии с п. 4.2 определим токи в ветвях методом контурных токов

а) воспользовавшись найденными в п. 5.3.1б В, У и Т, подсчитываем m – количество используемых контурных токов и p – количество неизвестных контурных токов

$$m = B - Y + 1 = 6 - 4 + 1 = 3;$$

$$p = m - T = 3 - 1 = 2;$$

б) в заданной схеме выбираем $m=3$ контура, в которых циркулируют контурные токи. В данных контурах выбираем направление контурных токов – рисунок 5.4.

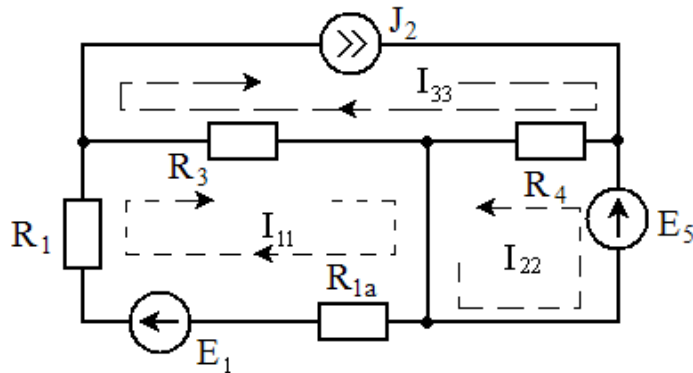


Рисунок 5.4 – Анализ электрической цепи методом контурных токов

В контуре с источником тока контурный ток обязательно направляется по стрелке источника тока. Данный контурный ток считается известным и равным току источника тока;

в) нумеруем контурные токи I_{11} , I_{22} , I_{33} . Известный контурный ток удобно нумеровать последним $I_{33}=J_2$;

г) для контуров с неизвестными контурными токами

(I_{11} , I_{22}) составляем систему уравнений следующей структуры:

$$\begin{cases} R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} + R_{13}I_{33} = E_{11}, \\ R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} + R_{23}I_{33} = E_{22}, \end{cases}$$

где $R_{11} = R_1 + R_{1a} + R_3 = 1 + 1 + 3 = 5 \text{ Ом};$

$R_{12} = R_{21} = 0 \text{ Ом};$

$R_{13} = -R_3 = -3 \text{ Ом};$

$R_{22} = R_4 = 4 \text{ Ом};$

$R_{23} = R_4 = 4 \text{ Ом};$

$E_{11} = E_1 = 5 \text{ В};$

$E_{22} = E_5 = 25 \text{ В};$

$I_{33} = J_2 = 2 \text{ А}.$

Подставляем найденные коэффициенты в последнюю систему

$$\begin{cases} 5I_{11} + 0 \cdot I_{22} - 3 \cdot 2 = 5 \\ 0 \cdot I_{11} + 4I_{22} + 4 \cdot 2 = 25 \end{cases}$$

Решая полученную систему, находим неизвестные контурные то-

ки

$I_{11} = 2,2 \text{ А}; I_{22} = 4,25 \text{ А};$

д) по известным контурным токам вычисляем токи в ветвях

$I_1 = I_{11} = 2,2 \text{ А};$

$I_2 = J_2 = 2 \text{ А};$

$I_3 = I_{33} - I_{11} = 2 - 2,2 = -0,2 \text{ А};$

$I_4 = I_{22} + I_{33} = 4,25 + 2 = 6,25 \text{ А};$

$I_5 = I_{22} = 4,25 \text{ А};$

$I_6 = I_{11} + I_{22} = 2,2 + 4,25 = 6,45 \text{ А}.$

5.3.3. В соответствии с п. 4.3 проверим метод контурных токов с помощью уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа.

Для этого в уравнения, полученные в п. 5.3.1д подставим токи, найденные в п. 5.3.2д

$U_{1a} + U_1 - U_3 = E_1;$

$R_{1a}I_1 + R_1I_1 - R_3I_3 = E_1;$

$1 \cdot 2,2 + 1 \cdot 2,2 - 3 \cdot (-0,2) = 5;$

$4,4 + 0,6 = 5.$

Получено тождество.

$-U_4 = -E_5;$

$-R_4I_4 = -E_5;$

$-4 \cdot 6,25 = -25;$

$-25 = -25.$

Получено тождество.

Проверка подтвердила правильность анализа цепи методом контурных токов.

5.3.4. В соответствии с п. 4.4 найдем токи в ветвях методом узловых потенциалов

а) в схеме с выбранными направлениями токов (рис. 5.3) находим ветви, состоящие только из источников ЭДС. Такой будет ветвь с источником ЭДС E_5 ;

б) осуществляем перенос этой ЭДС в соответствии с рисунком 5.5;

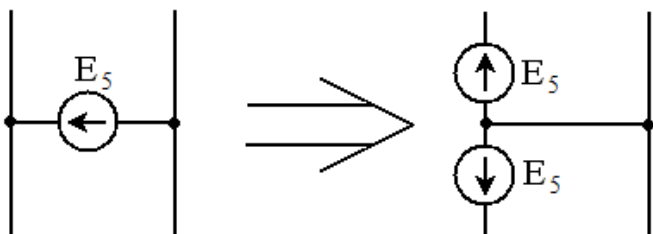


Рисунок 5.5 – Перенос источника ЭДС

в) в схеме, получившейся после переноса ЭДС E_5 , узлы, соединенные перемычкой, объединяем в один узел (см. заштрихованные участки на рисунке 5.6)

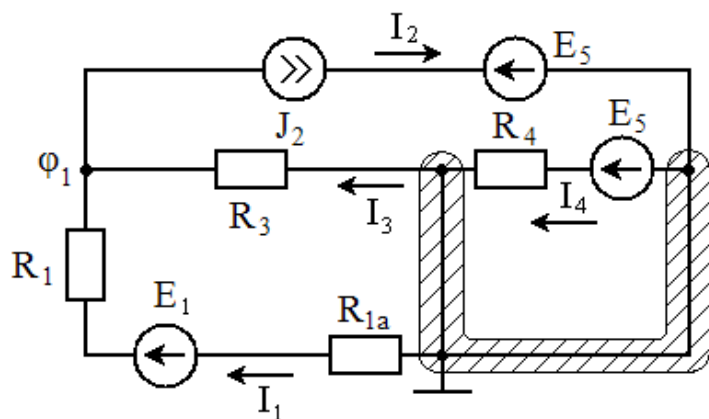


Рисунок 5.6 – Анализ электрической цепи методом узловых потенциалов с объединенными узлами

г) заземляем один узел, т.е. считаем его потенциал известным и равным нулю. На рисунке 5.6 заземление отмечено значком $\perp$;

д) незаземленные узлы нумеруем и считаем, что в них имеются неизвестные потенциалы. Для данной схемы таких узлов будет один с потенциалом φ_1 ;

е) для незаземленных узлов составляем уравнения узловых потенциалов. В данной схеме на рисунке 5.6 таких уравнений будет одно:

$$G_{11}\varphi_1 = \sum_1 \pm GE + \sum_1 \pm J,$$

$$\text{где } G_{11} = \frac{1}{R_1 + R_{1a}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{1+1} + \frac{1}{3} = 0,83 \text{ См};$$

$$\sum_1 \pm GE = \frac{E_1}{R_1 + R_{1a}} + \frac{E_5}{\infty} = \frac{5}{1+1} + \frac{25}{\infty} = 2,5 \text{ А};$$

$$\sum_1 \pm J = -J_2 = -2 \text{ А}$$

После подстановки найденных величин получаем уравнение

$$0,83\varphi_1 = 2,5 - 2 = 0,5;$$

отсюда вычисляем неизвестный потенциал

$$\varphi_1 = 0,6 \text{ В};$$

ж) осуществляем возврат ранее перенесенной ЭДС E_5 .

После такого возврата ЭДС появился новый узел – это правый верхний узел с неизвестным узловым потенциалом φ_2 – рисунок 5.3;

з) вычисляем величину вновь появившегося потенциала φ_2

$$\varphi_2 - \varphi_0 = E_5 \text{ В};$$

$$\varphi_2 = E_5 = 25 \text{ В};$$

и) зная потенциалы узлов, находим токи в ветвях с сопротивлениями по формуле

$$I_k = \frac{\varphi_a - \varphi_b \pm E_k}{R_k},$$

где φ_a - потенциал узла, из которого ток I_k выходит;

φ_b - потенциал узла, в который ток I_k входит;

$+ E_k$ - ЭДС, стоящая в k -й ветви, стрелка которой по направлению совпадает с током I_k ;

R_k - сумма сопротивлений, стоящих в k -й ветви.

По известным узловым потенциалам определяем токи в ветвях с сопротивлениями

$$I_1 = \frac{\varphi_0 - \varphi_1 + E_1}{R_1 + R_{1a}} = \frac{0 - 0,6 + 5}{1 + 1} = 2,2A;$$

$$I_3 = \frac{\varphi_0 - \varphi_1}{R_3} = \frac{0 - 0,6}{3} = -0,2A;$$

$$I_4 = \frac{\varphi_2 - \varphi_0}{R_4} = \frac{25 - 0}{4} = 6,25A;$$

$$I_2 = J_2 = 2A;$$

к) определим токи в ветвях без сопротивлений, применив первый закон Кирхгофа для правого верхнего узла

$$I_4 - J_2 - I_5 = 0;$$

$$I_5 = I_4 - J_2 = 6,25 - 2 = 4,25A$$

Ток I_6 найдем из уравнения по первому закону Кирхгофа для верхнего среднего узла

$$I_3 - I_4 + I_6 = 0;$$

$$I_6 = I_4 - I_3 = 6,25 - (-0,2) = 6,45A$$

5.3.5. В соответствии с п. 5.3.1г проверим метод узловых потенциалов по первому закону Кирхгофа

а) два нижних уравнения использовать нельзя. т.к. по ним были найдены токи I_5 и I_6 ;

б) для проверки используем верхнее уравнение п. 5.3.1г

$$-I_1 + I_2 - I_3 = 0;$$

$$-2,2A + 2A - (-0,2A) = 0$$

Получено тождество.

Проверка подтвердила правильность анализа цепи методом узловых потенциалов.

5.3.6. В соответствии с п. 4.6 определим токи в ветвях методом наложения

а) в исходной схеме оставляем выбранные направления токов в ветвях (см. рис. 5.3);

б) оставляем один источник ЭДС E_1 , а остальные источники удаляем (источники ЭДС закорачиваем, а источники тока разрываем). В новой схеме с одним источником выбираем направления токов в ветвях, созданных оставленным источником – рисунок 5.7.

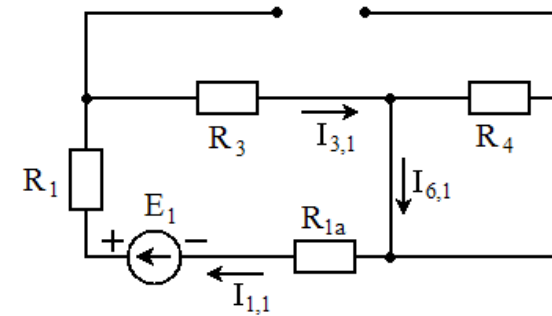


Рисунок 5.7 – Анализ цепи методом наложения (токи созданы только ЭДС E_1)

Направление токов в ветвях выбирается так, чтобы выполнялся принцип – во внешней относительно источника цепи ток проходит от (+) источника к его (-).

Обозначим токи в ветвях, созданные первым источником, $I_{K,L}$, где K указывает номер ветви, а L – номер источника, которым этот ток создан;

Находим токи в ветвях, созданные источником E_1

$$I_{1,1} = I_{3,1} = I_{6,1} = \frac{E_1}{R_1 + R_{1a} + R_3} = \frac{5}{1+1+3} = 1\text{A}.$$

Все остальные токи равны нулю

$$I_{2,1} = I_{4,1} = I_{5,1} = 0;$$

в) в исходной схеме оставляем другой источник энергии (ЭДС E_5). Источник ЭДС (E_1) закорачиваем, а источник тока разрываем (см. рис. 5.8).

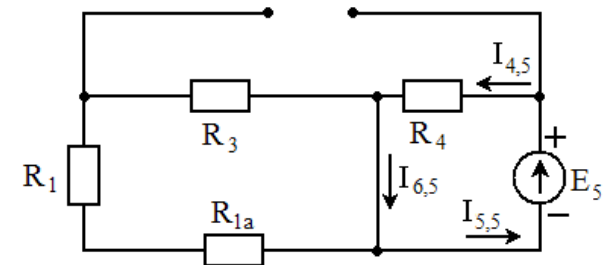


Рисунок 5.8 – Анализ цепи методом наложения (токи созданы только ЭДС E_5)

Аналогично выбираем направление токов в ветвях и обозначаем их (см. п. 5.3.6 б).

Находим токи в ветвях, созданные источником ЭДС E_5

$$I_{4,5} = I_{5,5} = I_{6,5} = \frac{E_5}{R_4} = \frac{25}{4} = 6,25 \text{ A}.$$

Все остальные токи равны нулю

$$I_{1,5} = I_{3,5} = I_{2,5} = 0;$$

г) в исходной схеме оставляем третий источник энергии (источник тока J_2), источники ЭДС закорачиваем (см. рис. 5.9)

Аналогично выбираем токи в ветвях и обозначаем их.

Ток через R_4 не проходит, т.к. это сопротивление закорочено ветвями 5 и 6.

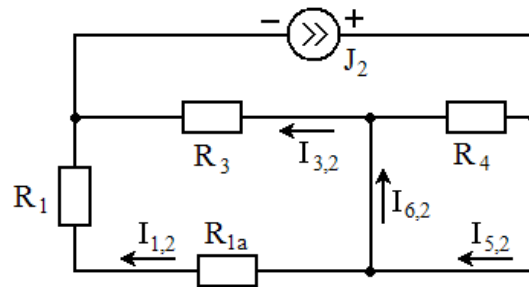


Рисунок 5.9 – Анализ цепи методом наложения (токи созданы источником тока J_4)

Рассчитаем эквивалентное сопротивление относительно зажимов источника тока J_2

$$R_{13} = \frac{(R_1 + R_{1a}) \cdot R_3}{R_1 + R_{1a} + R_3} = \frac{(1+1) \cdot 3}{1+1+3} = \frac{6}{5} = 1,2 \text{ Ом}$$

Определяем напряжение на эквивалентном сопротивлении R_{13}

$$U_{132} = R_{13} \cdot I_2 = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ В};$$

Определяем токи в ветвях, созданные источником тока J_2

$$I_{1,2} = \frac{U_{132}}{R_1 + R_{1a}} = \frac{2,4}{1+1} = 1,2 \text{ A};$$

$$I_{3,2} = I_{6,2} = \frac{U_{132}}{R_3} = \frac{2,4}{3} = 0,8 \text{ A};$$

$$I_{5,2} = J_2; \quad I_{4,2} = 0.$$

д) реальный ток в ветви находится как алгебраическая сумма токов в этой ветви, созданных каждым источником в отдельности

$$I_1 = I_{1,1} + I_{1,2} - I_{1,5} = 1 + 1,2 - 0 = 2,2 \text{ A};$$

$$I_2 = I_{2,1} + I_{2,2} - I_{2,5} = 0 + 2 - 0 = 2 \text{ A};$$

$$I_3 = -I_{3,1} + I_{3,2} + I_{3,3} = -1 + 0,8 + 0 = -0,2 \text{ A};$$

$$I_4 = I_{4,1} + I_{4,2} + I_{4,5} = 0 + 0 + 6,25 = 6,25 \text{ A};$$

$$I_5 = I_{5,1} - I_{5,2} + I_{5,5} = 0 - 2 + 6,25 = 4,25 \text{ A};$$

$$I_6 = I_{6,1} - I_{6,2} + I_{6,5} = 1 - 0,8 + 6,25 = 6,45 \text{ A}$$

5.3.7. В соответствии с п. 4.7 определим ток в сопротивлении R_1 методом эквивалентного генератора.

а) удаляем ветвь, в которой необходимо найти ток, т.е. ветвь с R_1 (рисунок 5.10).

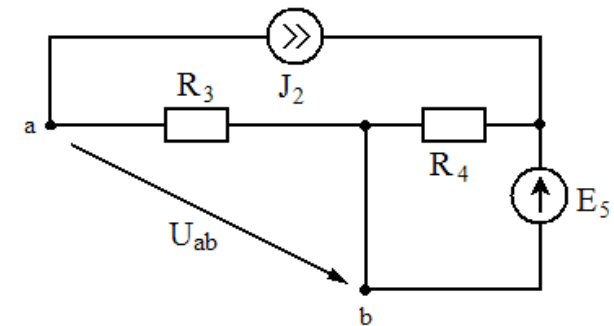


Рисунок 5.10 – Исходная схема после удаления ветви с сопротивлением R_1

Точки, к которым была подсоединена удаленная ветвь, обозначим a и b .

б) в новой схеме определим напряжение U_{ab} методом законов Кирхгофа

Для контура с напряжением U_{ab} запишем уравнение по второму закону Кирхгофа

$$U_{ab} + R_2 I_2 = 0; \quad U_{ab} = -R_2 I_2 = -3 \cdot 2 = -6 \text{ В},$$

в) в новой схеме закорачиваем источники ЭДС, разрываем источник тока и вычисляем эквивалентное сопротивление относительно точек a и b (рисунок 5.11)

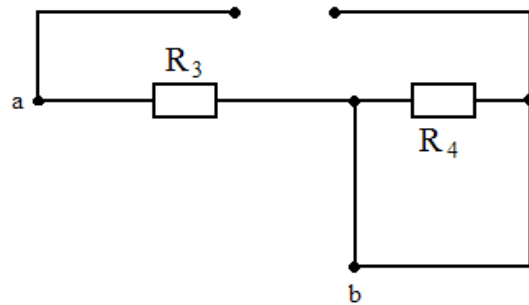


Рисунок 5.11 – Схема для определения эквивалентного сопротивления относительно точек a и b

$$R_{ab} = R_3 = 3 \text{ Ом.}$$

г) создаем эквивалентный генератор (пунктир), к зажимам которого подключаем ранее удаленную ветвь с R_1 и R_{1a} (рисунок 5.12)

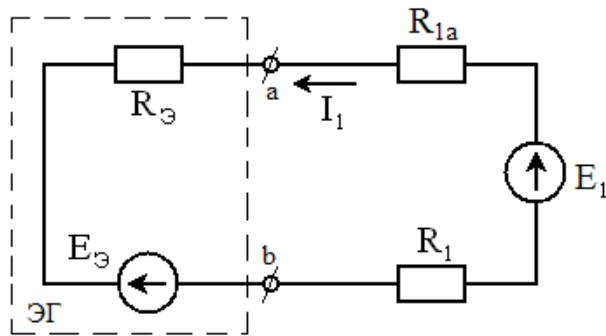


Рисунок 5.12 – Эквивалентный генератор с подключенной ветвью с сопротивлениями R_1 , R_{1a}

$$E_3 = U_{ab} = -6 \text{ В;}$$

$$R_3 = R_{ab} = 3 \text{ Ом.}$$

Для полученного контура запишем уравнение по второму закону Кирхгофа, расписав напряжения на сопротивлениях через произведение тока и сопротивления

$$R_1 I_1 + R_{1a} I_1 + R_3 I_1 = E_1 - E_3,$$

$$I_1 = \frac{E_1 - E_3}{R_1 + R_{1a} + R_3} = \frac{5 - (-6)}{1 + 1 + 3} = 2,2 \text{ A}$$

5.3.8. Согласно п. 4.8 составим баланс мощности. Баланс мощности означает, что сумма мощностей всех источников энергии равна сумме мощностей всех потребителей энергии

$$\sum_{k=1}^n I_k^2 R_k = \sum_{k=1}^m \pm E_k I_k + \sum_{k=1}^l \pm U_k J_k$$

а) находим сумму мощностей всех потребителей энергии

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n I_k^2 R_k &= I_1^2 (R_1 + R_{1a}) + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 = 2,2^2 (1 + 1) + \\ &+ (-0,2)^2 \cdot 3 + 6,25^2 \cdot 4 = 9,68 + 0,12 + 156,25 = 166,05 \text{ Вт} \end{aligned}$$

б) вычислим сумму мощностей всех источников ЭДС

$$\sum_{k=1}^m \pm E_k I_k = E_1 I_1 + E_5 I_5 = 5 \cdot 2,2 + 25 \cdot 4,25 = 11 + 106,25 = 117,25 \text{ Вт};$$

в) рассчитываем мощность источника тока, предварительно найдем (см. п. 5.3.4) напряжение на зажимах источника тока

$$U_2 = \varphi_2 - \varphi_1 = 25 - 0,6 = 24,4 \text{ В};$$

мощность источника тока

$$\sum_{k=1}^l \pm U_k I_k = U_2 I_2 = 24,4 \cdot 2 = 48,8 \text{ Вт}$$

г) находим мощность всех источников энергии

$$\sum_{k=1}^m \pm E_k I_k + \sum_{k=1}^l \pm U_k I_k = 117,25 + 48,8 = 166,05 \text{ Вт}$$

Баланс мощности достигнут.

5.4. В соответствии с п. 2.5 приведем таблицу результатов различных методов

Таблица 1

Сводная таблица результатов

Метод	I ₁ , А	I ₂ , А	I ₃ , А	I ₄ , А	I ₅ , А	I ₆ , А
Контурных токов	2,2	2	- 0,2	6,25	4,25	6,45
Узловых потенциалов	2,2	2	- 0,2	6,25	4,25	6,45
Наложения	2,2	2	- 0,2	6,25	4,25	6,45
Эквивалентных генераторов	2,2	2				

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники: Учебник для вузов. 5-е изд. Т.1. – СПб.: Питер, 2009. – 512с.

2. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники: Учебник для вузов. 5-е изд. Т.2. – СПб.: Питер, 2009. – 510с.

3. Прянишников В.А. Теоретические основы электротехники: Курс лекций. – СПб.: Издательство «Корона. Век», 2012. – 368с.

4. Теоретические основы электротехники. Справочник по теории электрических цепей / Под ред. Ю.А. Бычкова, В.М. Золотницкого, Э.П. Чернышева. - СПб.: Питер, 2008. – 349с.

5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Т.1 – М.: Высшая школа, 1984. – 540 с.

6. Коровкин Н.В., Селина Е.Е., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники: Сборник задач. - СПб.: Питер, 2006. – 512с.

7. Бычков Ю.А., Золотницкий В.М., Чернышов Э.П. и др. Сборник задач и практикум по основам теории электрических цепей. 2-е изд. - СПб.: Питер, 2007. – 300с.