

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению расчетно-графических заданий
по дисциплине «Электротехника»
для студентов специальности 7100301 «Судовождение»
дневной и заочной форм обучения



Севастополь
2009

УДК 621.3

Методические указания к выполнению расчетно-графических заданий по дисциплине «Электротехника» / В.В. Костюков. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009.- 21 с.

Целью методических указаний является привитие навыков самостоятельной работы студентов над материалами дисциплины «Электротехника» при выполнении расчетно-графических заданий.

Методические указания предназначены для студентов третьего курса дневной и заочной форм обучения специальности 7100301 «Судовождение».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры Судовых и промышленных электромеханических систем (протокол №8 от 13.03.2009 г.).

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Маригодов В.К., доктор технических наук, профессор

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Требования к выполнению расчетно-графического задания.....	4
2. Требования к оформлению расчетно-графического задания.....	5
3. Расчетно-графическое задание «Анализ линейных электрических цепей постоянного тока».....	5
3.1. Выбор исходных данных.....	5
3.2. Содержание расчетов.....	5
4. Пример выполнения расчетно-графического задания.....	8
4.1. Обозначение и нумерация элементов.....	8
4.2. Задание параметров элементов.....	8
4.3. Выбор направления токов.....	9
4.4. Составление системы уравнений по законам Кирхгофа.....	10
4.5. Анализ схемы методом контурных токов.....	10
4.6. Проверка методом контурных токов.....	11
4.7. Анализ схемы методом узловых потенциалов.....	12
4.8. Проверка методом узловых потенциалов.....	14
4.9. Анализ схемы методом наложения.....	14
4.10. Анализ схемы методом эквивалентного генератора.....	17
4.11. Баланс мощности.....	19
4.12. Сводная таблица результатов анализа различными методами.....	20
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 способы их соединения по электротехническим схемам.

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. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ «АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

3.1. Выбор исходных данных

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

3.1.2. 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.

3.2. Содержание расчетов

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

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

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

3.2.4. Проверить метод контурных токов, используя составленные в п. 3.2.2 уравнения по второму закону Кирхгофа.



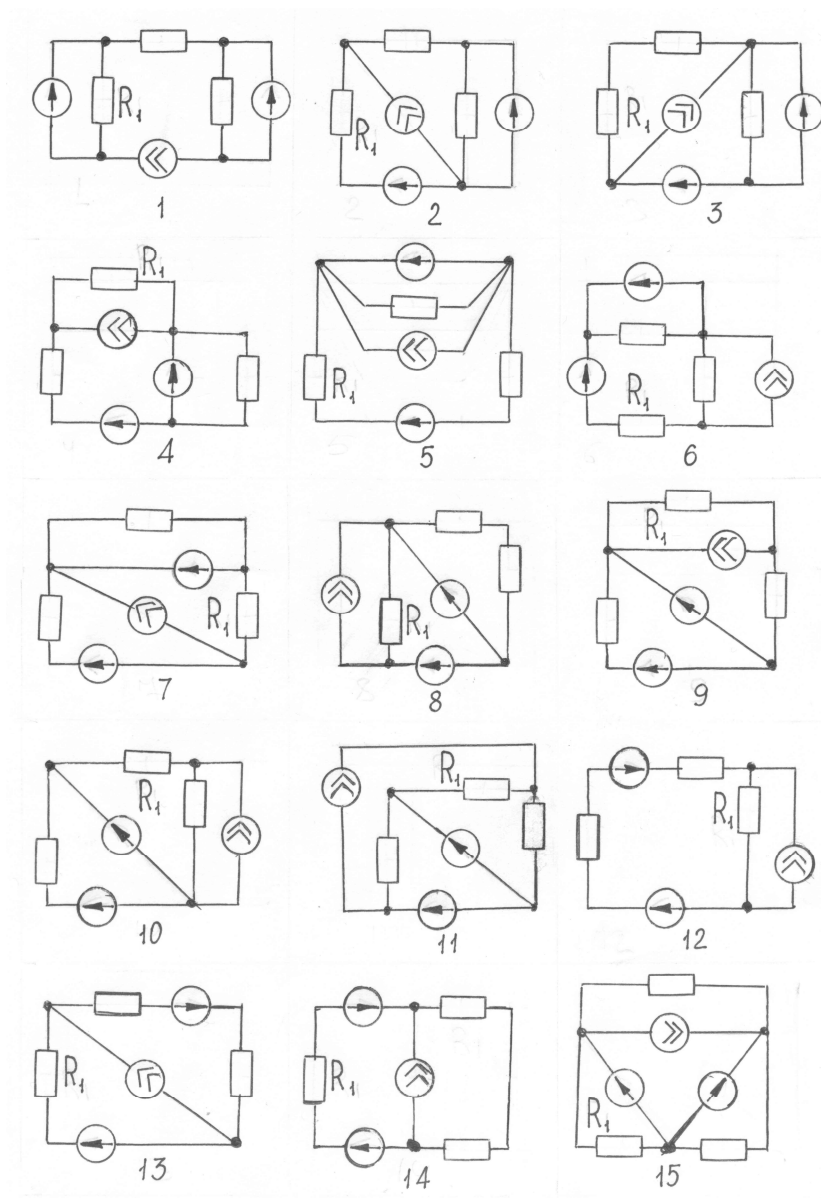
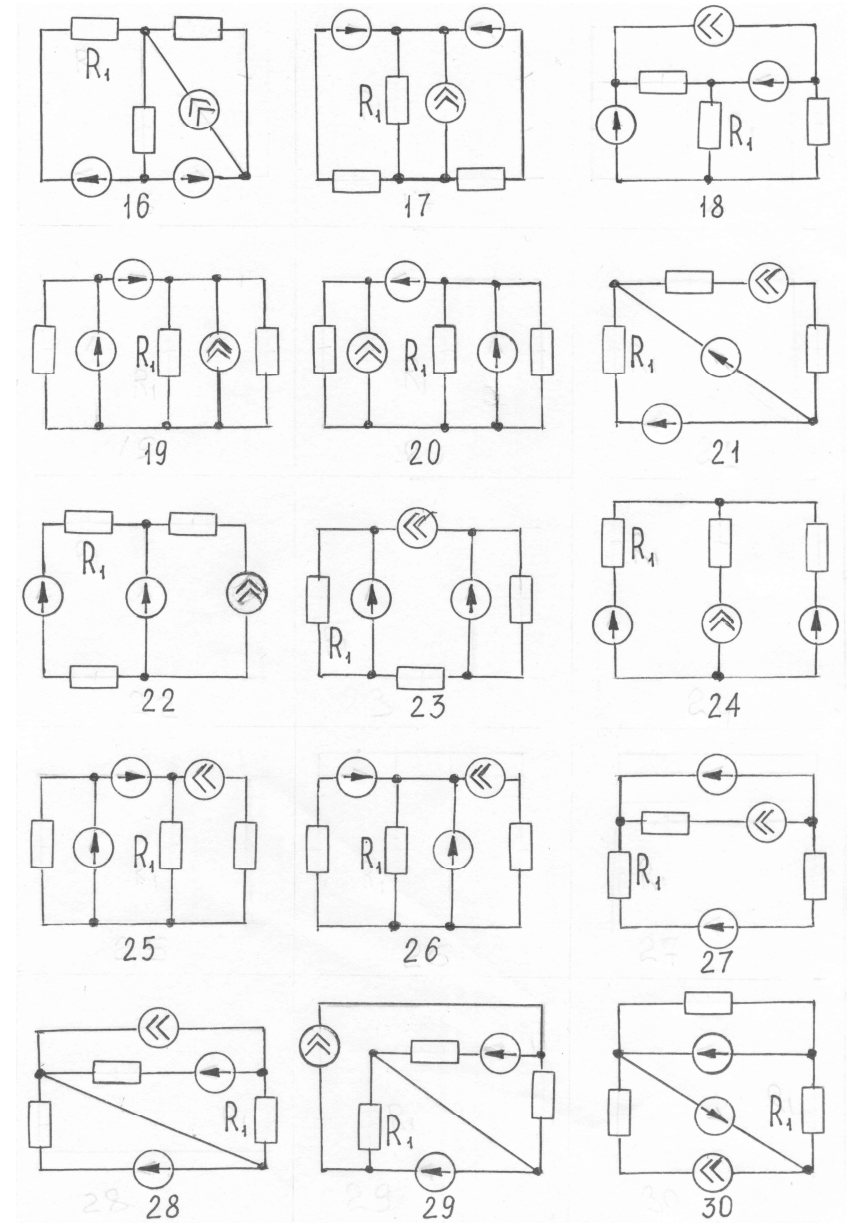


Рисунок 3.1 – Варианты заданий



Продолжение рисунка 3.1



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

3.2.6. Проверить метод узловых потенциалов, используя составленные в п. 3.2.2 уравнения по первому закону Кирхгофа.

3.2.7. Определить токи ветвей методом наложения.

3.2.8. Определить ток в резисторе R_1 методом эквивалентного генератора.

3.2.9. Для заданной схемы составить баланс мощности.

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

Схема варианта задания представлена на рисунке 4.1.

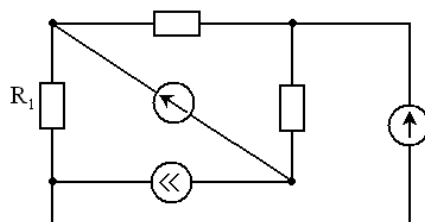


Рисунок 4.1 – Исходная схема варианта задания

4.1. В соответствии с п. 3.1.1 и с учетом п. 1.2 обозначим и пронумеруем все элементы схемы – рисунок 4.2.

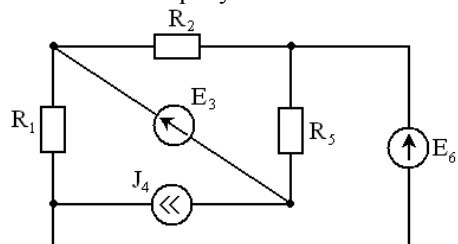


Рисунок 4.2 – Схема варианта задания с обозначенными элементами

4.2. Предположительно для группы ЭС-31 (группа в потоке имеет номер 1, т.е. $m=1$) в соответствии с п. 3.1.2 задаем параметры элементов схемы:

$$R_1=1 \text{ Ом};$$

$$R_2=2 \text{ Ом};$$

$$E_3 = 3 \cdot 5 = 15 \text{ В};$$

$$J_4 = 1 \text{ А};$$

$$R_5 = 5 \text{ Ом};$$

$$E_6 = 6 \cdot 5 = 30 \text{ В}.$$

4.3. В соответствии с п. 3.2.1 выбираем произвольно (кроме ветви с источником тока) направления токов в ветвях. В ветви с источником тока (J_4) направление тока должно совпадать со стрелкой источника тока. Нумеруем токи. Причем номер тока в ветви должен совпадать с номером элементов в данной ветви – рисунок 4.3.

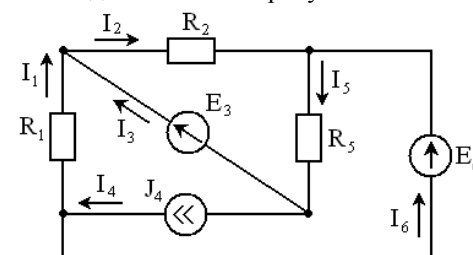


Рисунок 4.3 – Схема варианта задания с выбранными направлениями токов в ветвях

4.4. В соответствии с п. 3.2.2 запишем (не решая) систему уравнений по законам Кирхгофа, необходимую для определения токов в ветвях

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

$$B = 6;$$

$$U = 4;$$

$$T = 1;$$

б) подсчитываем количество уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа - N_1

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

в) в заданной схеме выбираем $N_1 = 3$ узла и нумеруем их – рисунок 4.4;

г) для пронумерованных узлов записываем уравнения по первому закону Кирхгофа

$$\text{узел 1} \quad I_2 - I_1 - I_3 = 0$$

$$\text{узел 2} \quad I_1 - J_4 + I_6 = 0$$

$$\text{узел 3} \quad I_5 - I_2 - I_6 = 0;$$



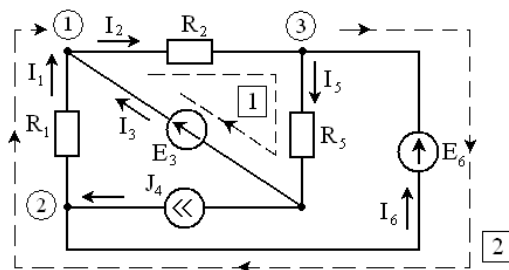


Рисунок 4.4 – Анализ электрической цепи методом закона Кирхгофа

д) для заданной схемы подсчитываем N_2 – количество уравнений, составляемых по второму закону Кирхгофа

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

е) в заданной схеме выбираем $N_2 = 2$ контура и нумеруем эти контура. Ветвь с источником тока не должна входить ни в один контур – рисунок 4.4;

ж) в пронумерованных контурах выбираем направления обходов контуров (на рисунке 4.4 – по часовой стрелке);

з) для пронумерованных контуров составляем уравнения по второму закону Кирхгофа

$$\text{контур 1} \quad R_2 I_2 + R_5 I_5 = E_3$$

$$\text{контур 2} \quad R_1 I_1 + R_2 I_2 = -E_6.$$

4.5. В соответствии с п. 3.2.3 определим токи в ветвях методом контурных токов

а) воспользовавшись найденными в п. 4.4.а B , Y и T , подсчитываем m – количество используемых контурных токов и n – количество неизвестных контурных токов

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

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

б) в заданной схеме выбираем $m = 3$ контура, в которых циркулируют контурные токи. В данных контурах выбираем направление контурных токов – рисунок 4.5.

В контуре с источником тока контурный ток 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 $I_{33} = J_4$;

г) для контуров с неизвестными контурными токами

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

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

$$R_{21}=R_{12}=R_2=2 \text{ O}_M;$$
$$R_{22}=R_1+R_2=1+2=3 \text{ OM};$$
$$R_{23} = -R_1 = -1 \text{ OM};$$
$$E_{22} = E_6 = 30 \text{ B};$$
$$\begin{cases} 7I_{11} + 2I_{22} = -15 \\ 2I_{11} + 3I_{22} - 1 \cdot 1 = 30. \end{cases}$$

КИ

д) по известным контурным токам вычисляем точки в ветвях

$$I_2 = -I_{11} - I_{22} = -(-6,294) - 14,529 = -8,235 \text{ A};$$
$$I_4=J_4=1\text{ A};$$
$$I_5 = -I_{11} = 6,294 \text{ A};$$
$$I_6=I_{22}=14,529 \text{ A.}$$

Для этого в уравнения, полученные в п. 4.4з подставим токи, найденные в п. 4.5д

$$R_2I_2 + R_5I_5 = E_3$$
$$-2 \cdot 8,235 + 5 \cdot 6,294 = -16,47 + 31,47 = 15.$$

Получено тождество.

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 = -E_6$$

$$1 \cdot (-13,529) + 2 \cdot (-8,235) = -13,529 - 16,47 = -29,999.$$

Получено тождество.

Проверка подтвердила правильность анализа цепи методом контурных токов.

4.7. В соответствии с п. 3.2.5 найдем токи в ветвях методом узловых потенциалов

а) в исходной схеме находим ветви, состоящие только из источников ЭДС. Такими будут ветви с источниками E_3 и E_6 .

б) осуществляем перенос таких ЭДС в соответствии с рисунком 4.6

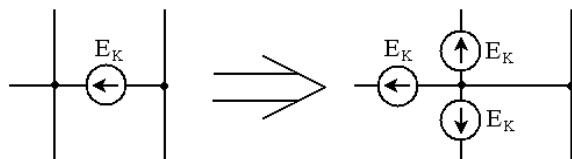


Рисунок 4.6 – Перенос источника ЭДС

в) в схеме, получившейся после переноса ЭДС E_3 и E_6 , узлы, соединенные перемычкой, объединяем в один узел (см. заштрихованные участки на рисунке 4.7)

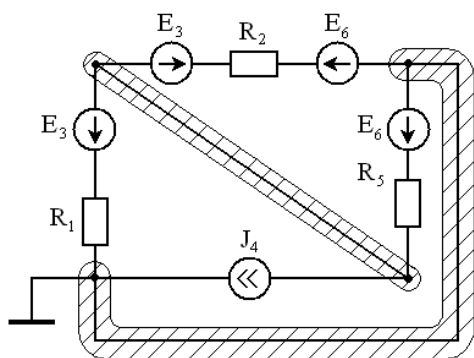


Рисунок 4.7 – Анализ электрической цепи методом узловых потенциалов с объединенными узлами

г) заземляем один узел, т.е. считаем его потенциал известным и равным нулю. На рисунке 4.7 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 для потенциалов. В данной схеме на рисунке 4.7 таких уравнений будет одно:

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

$$\text{где } G_{11} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{5} = 1,7 \text{ См};$$

$$\sum_1 \pm GE = -\frac{E_3}{R_1} + \frac{E_6 - E_3}{R_2} + \frac{E_6}{R_5} = -\frac{15}{1} + \frac{30 - 15}{2} + \frac{30}{5} = -1,5 \text{ А};$$

$$\sum_1 \pm J = -J_4 = -1.$$

После подстановки найденных величин получаем уравнение

$$1,7\varphi_1 = -1,5 - 1;$$

отсюда вычисляем неизвестный потенциал

$$\varphi_1 = -1,471 \text{ В};$$

ж) осуществляем возврат ранее перенесенных ЭДС E_3 и E_6 . После такого возврата ЭДС появились два узла с неизвестными узловыми потенциалами φ_2 и φ_3 – рисунок 4.8.

з) вычисляем величины вновь появившихся потенциалов φ_2 и φ_3

$$\varphi_2 = \varphi_1 + E_3 = -1,471 + 15 = 13,53 \text{ В};$$

$$\varphi_3 = 0 + E_6 = 0 + 30 = 30 \text{ В};$$

и) рассчитаем токи в ветвях с сопротивлениями

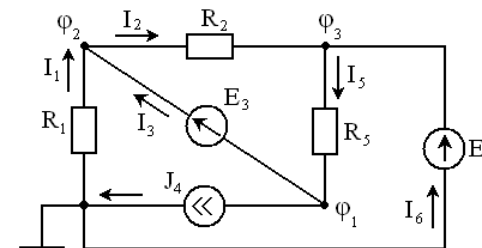


Рисунок 4.8 – Анализ электрической цепи методом узловых потенциалов



$$I_1 = \frac{0 - \varphi_2}{R_1} = \frac{0 - 13,53}{1} = -13,53 A;$$

$$I_2 = \frac{\varphi_2 - \varphi_3}{R_2} = \frac{13,53 - 30}{2} = -8,235 A;$$

$$I_5 = \frac{\varphi_3 - \varphi_1}{R_5} = \frac{30 - (-1,47)}{5} = 6,294 A;$$

к) определим токи в ветвях без сопротивлений. Для узла с потенциалом φ_2 запишем первый закон Кирхгофа

$$I_2 - I_1 - I_3 = 0,$$

отсюда

$$I_3 = I_2 - I_1 = -8,235 + 13,53 = 5,295 A.$$

Для узла с потенциалом φ_3 запишем первый закон Кирхгофа

$$I_5 - I_2 - I_6 = 0,$$

отсюда

$$I_6 = I_5 - I_2 = 6,294 + 8,235 = 14,529 A.$$

4.8. В соответствии с п. 3.2.6 проверим метод угловых потенциалов по первому закону Кирхгофа.

Для этого в уравнение, полученное в п. 4.4г для заземленного узла, подставим токи, найденные в методе угловых потенциалов

$$I_1 - I_4 + I_6 = -13,53 - 1 + 14,529 = 0,001.$$

Получено тождество.

4.9. В соответствии с п. 3.2.7 определим токи в ветвях методом наложения.

4.9.1. Оставляем один источник ЭДС E_3 , 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 4.9.

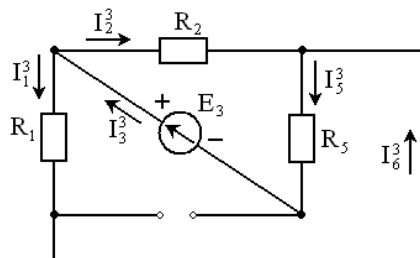


Рисунок 4.9 – Анализ цепи методом наложения (токи созданы только ЭДС E_3)

В обозначении токов нижний индекс обозначает номер ветви, а верхний – номер оставленного источника. Направление токов в ветвях выбирается так, чтобы выполнялся принцип – во внешней относительно источника цепи ток проходит от (+) источника к его (-)

а) рассчитаем эквивалентное сопротивление относительно зажимов источника ЭДС E_3

$$R_{125} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_5 = \frac{1 \cdot 2}{1 + 2} + 5 = 0,666 + 5 = 5,666 \text{ Ом};$$

б) вычисляем токи в ветвях, созданные E_3

$$I_5^3 = I_3^3 = \frac{E_3}{R_{125}} = \frac{15}{5,666} = 2,6471 \text{ A};$$

$$U_{12}^3 = R_{12} \cdot I_3^3 = 0,666 \cdot 2,6471 = 1,7645 \text{ В};$$

$$I_6^3 = I_1^3 = \frac{U_{12}^3}{R_1} = \frac{1,7645}{1} = 1,7645 \text{ A};$$

$$I_2^3 = \frac{U_{12}^3}{R_2} = \frac{1,7645}{2} = 0,8823 \text{ A};$$

4.9.2. Теперь оставляем источник ЭДС E_6 и в полученной схеме выбираем направления токов в ветвях – рисунок 4.10.

а) рассчитаем эквивалентное сопротивление относительно зажимов источника ЭДС E_6

$$R_{251} = \frac{R_2 R_5}{R_2 + R_5} + R_1 = \frac{2 \cdot 5}{2 + 5} + 1 = 1,4286 + 1 = 2,4286 \text{ Ом};$$

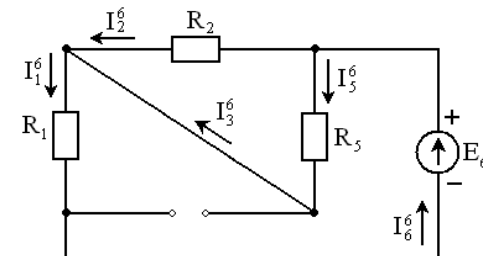


Рисунок 4.10 – Анализ цепи методом наложения (токи созданы только ЭДС E_6)

б) вычисляем токи в ветвях, созданные E_6



$$I_6^6 = I_1^6 = \frac{E_6}{R_{251}} = \frac{30}{2,4286} = 12,3528 \text{ A};$$

$$U_{25}^6 = R_{25} \cdot I_6^6 = 1,428 \cdot 12,3528 = 17,6472 \text{ В};$$

$$I_2^6 = \frac{U_{25}^6}{R_2} = \frac{17,6472}{2} = 8,8236 \text{ А};$$

$$I_5^6 = I_3^6 = \frac{U_{25}^6}{R_5} = \frac{17,6472}{5} = 3,5294 \text{ А}.$$

4.9.3. Оставляем источник тока J_4 и в полученной схеме выбираем направления токов в ветвях – рисунок 4.11

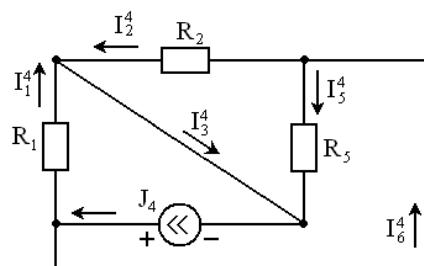


Рисунок 4.11 – Анализ цепи методом наложения (токи созданы источником тока J_4)

а) рассчитаем эквивалентное сопротивление относительно зажимов источника тока J_4

$$R_{521} = \frac{R_5 \cdot R_2 \cdot R_1}{R_5 R_2 + R_5 R_1 + R_1 R_2} = \frac{5 \cdot 2 \cdot 1}{5 \cdot 2 + 5 \cdot 1 + 1 \cdot 2} = 0,5882 \text{ Ом};$$

б) вычисляем токи в ветвях с сопротивлениями, созданные источником тока J_4

$$U_{521}^4 = R_{521} \cdot I_4 = 0,5882 \cdot 1 = 0,5882 \text{ В};$$

$$I_1^4 = \frac{U_{521}^4}{R_1} = \frac{0,5882}{1} = 0,5882 \text{ А};$$

$$I_2^4 = \frac{U_{521}^4}{R_2} = \frac{0,5882}{2} = 0,2941 \text{ А};$$

$$I_5^4 = \frac{U_{521}^4}{R_5} = \frac{0,5882}{5} = 0,1176 \text{ A};$$

в) применяя первый закон Кирхгофа к двум левым узлам, находим токи в перемычках

$$I_6^4 = J_4 - I_1^4 = 1 - 0,5882 = 0,4118 \text{ A};$$

$$I_3^4 = I_1^4 + I_2^4 = 0,5882 + 0,2941 = 0,8823 \text{ A}.$$

4.9.4. Реальный ток в ветви находится как алгебраическая сумма токов в этой ветви, созданных каждым источником в отдельности

$$I_1 = -I_1^3 - I_1^6 + I_1^4 = -1,7645 - 12,3528 + 0,5882 = -13,53 \text{ A};$$

$$I_2 = I_2^3 - I_2^6 - I_2^4 = 0,8823 - 8,8236 - 0,2941 = -8,235 \text{ A};$$

$$I_3 = I_3^3 + I_3^6 - I_3^4 = 2,6471 + 3,5294 - 0,8823 = 5,294 \text{ A};$$

$$I_4 = J_4 = 1 \text{ A};$$

$$I_5 = I_5^3 + I_5^6 + I_5^4 = 2,6471 + 3,5294 + 0,1176 = 6,294 \text{ A};$$

$$I_6 = I_6^3 + I_6^6 + I_6^4 = 1,764 + 12,3528 + 0,4118 = 14,529 \text{ A}.$$

4.10. В соответствии с п. 3.2.8 определим ток в сопротивлении R_1 методом эквивалентного генератора.

4.10.1. Удаляем ветвь, в которой необходимо найти ток, т.е. ветвь с R_1 (рисунок 4.12).

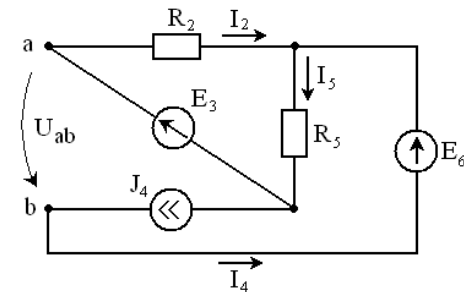


Рисунок 4.12 – Исходная схема после удаления ветви с сопротивлением R_1

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

4.10.2. В новой схеме определим напряжение U_{ab} методом законов Кирхгофа



а) подсчитываем в новой схеме (рисунок 4.12):

$Y=2$ – количество узлов;

$B=3$ – количество ветвей;

$T=1$ – количество ветвей с источниками тока;

б) в новой схеме произвольно (кроме ветви с источником тока)

выбираем направления токов в ветвях;

в) подсчитываем N_1 и N_2 – количество уравнений, составляемых по первому и второму закону Кирхгофа

$$N_1 = Y - 1 = 2 - 1 = 1;$$

$$N_2 = B - Y + 1 - T = 3 - 2 + 1 - 1 = 1;$$

г) для верхнего узла и контура без источника тока составляем уравнения по законам Кирхгофа

$$I_5 - I_2 - J_4 = 0;$$

$$R_2 I_2 + R_5 I_5 = E_3.$$

Из уравнений по первому закону Кирхгофа выражаем ток I_5 и подставляем в уравнение по второму закону

$$R_2 I_2 + (I_2 + J_4) R_5 = E_3.$$

Отсюда получаем выражение для I_2

$$I_2 = \frac{E_3 - R_5 J_4}{R_2 + R_5} = \frac{15 - 5 \cdot 1}{2 + 5} = 1,4286 \text{ A};$$

д) составляя уравнение по второму закону Кирхгофа для внешнего контура, получаем выражение для напряжения U_{ab}

$$U_{ab} = E_6 + R_2 I_2 = 30 + 2 \cdot 1,4286 = 32,8572 \text{ В}.$$

4.10.3. В новой схеме закорачиваем источники ЭДС, разрываем источник тока и вычисляем эквивалентное сопротивление относительно точек a и b (рисунок 4.13)

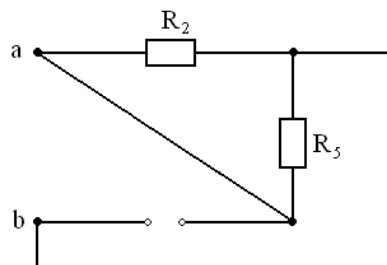


Рисунок 4.13 – Схема для определения эквивалентного сопротивления относительно точек a и b

$$R_{ab} = \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_5} = \frac{2 \cdot 5}{2 + 5} = 1,4286 \text{ Ом.}$$

4.10.4. Создаем эквивалентный генератор (пунктир), к зажимам которого подключаем ранее удаленную ветвь с R_1 (рисунок 4.14)

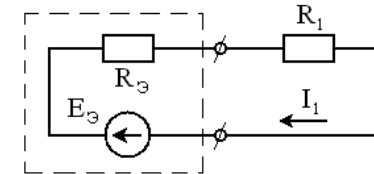


Рисунок 4.14 – Эквивалентный генератор с подключенным сопротивлением R_1

$$E_{\text{э}} = U_{ab} = 32,8572 \text{ В;}$$

$$R_{\text{э}} = R_{ab} = 1,4286 \text{ Ом.}$$

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

$$I_1 R_{\text{э}} + I_1 R_1 = E_{\text{э}},$$

$$I_1 = \frac{E_{\text{э}}}{R_{\text{э}} + R_1} = \frac{32,8572}{1,4286 + 1} = 13,529 \text{ А.}$$

4.11. Согласно п. 3.2.9 составим баланс мощности. Баланс мощности означает, что сумма всех мощностей источников энергии равна сумме мощностей всех потребителей энергии

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

4.11.1. Находим сумму мощностей всех потребителей энергии

$$R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_5 I_5^2 = 1 \cdot (13,529)^2 + 2 \cdot (-8,235)^2 + 5 \cdot (6,292)^2 = 516,75 \text{ Вт}$$

4.11.2. Вычислим сумму мощностей всех источников ЭДС

$$P_E = E_3 I_3 + E_6 I_6 = 15 \cdot 5,294 + 30 \cdot 14,592 = 515,28 \text{ Вт}$$

4.11.3. Рассчитываем мощность источника тока

а) предварительно найдем (см. п. 4.7е) напряжение на зажимах источника тока

$$U_4 = 0 - \varphi_1 = 0 - (-1,47) = 1,47 \text{ В;}$$

б) мощность источника тока



$$P_J = U_4 J_4 = 1,47 \cdot 1 = 1,47 \text{ Вт.}$$

4.11.4. Находим мощность всех источников энергии

$$P_E + P_J = 512,28 + 1,47 = 516,75 \text{ Вт.}$$

Баланс мощности достигнут.

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

Таблица 1

Сводная таблица результатов

Метод	Токи				
	I ₁ , А	I ₂ , А	I ₃ , А	I ₅ , А	I ₆ , А
Контурных токов	13,529	-8,235	5,294	6,294	14,529
Узловых потенциалов	13,53	-8,235	5,295	6,294	14,292
Наложения	13,53	-8,235	5,294	6,294	14,529
Эквивалентных генераторов	13,529				

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сборник задач по электротехнике и основам электроники /В.Г. Герасимов, Х.Э. Зайдель и др.; под ред. В.Г. Герасимова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1987. – 288 с.
2. Рекус Г.Г., Белоусов А.М. Сборник задач по электротехнике и основам электроники / Г.Г. Рекус, А.М. Белоусов. – М.: Высшая школа, 1991. – 416 с.