**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**федеральное государственное бюджетное**

**образовательное учреждение высшего образования**

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИМЕНИ А.Н. КОСЫГИНА**

**(ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)»**

**(ФГБОУ ВО «РГУ имени А.Н. Косыгина»)**

**ЛЕКЦИЯ № 6**

**по дисциплине**

**Электротехника и электроника**

Разработчик: д.т.н., профессор А.Е. Поляков

Москва

РГУ имени А.Н. Косыгина, 2020

**Расчет сложных электрических цепей постоянного тока**

1. Начертите расчетную схему цепи, соответствующую вашему варианту задания по исходной схеме (рис. 1.1. для нечетных вариантов, рис. 1.1, 1.2).

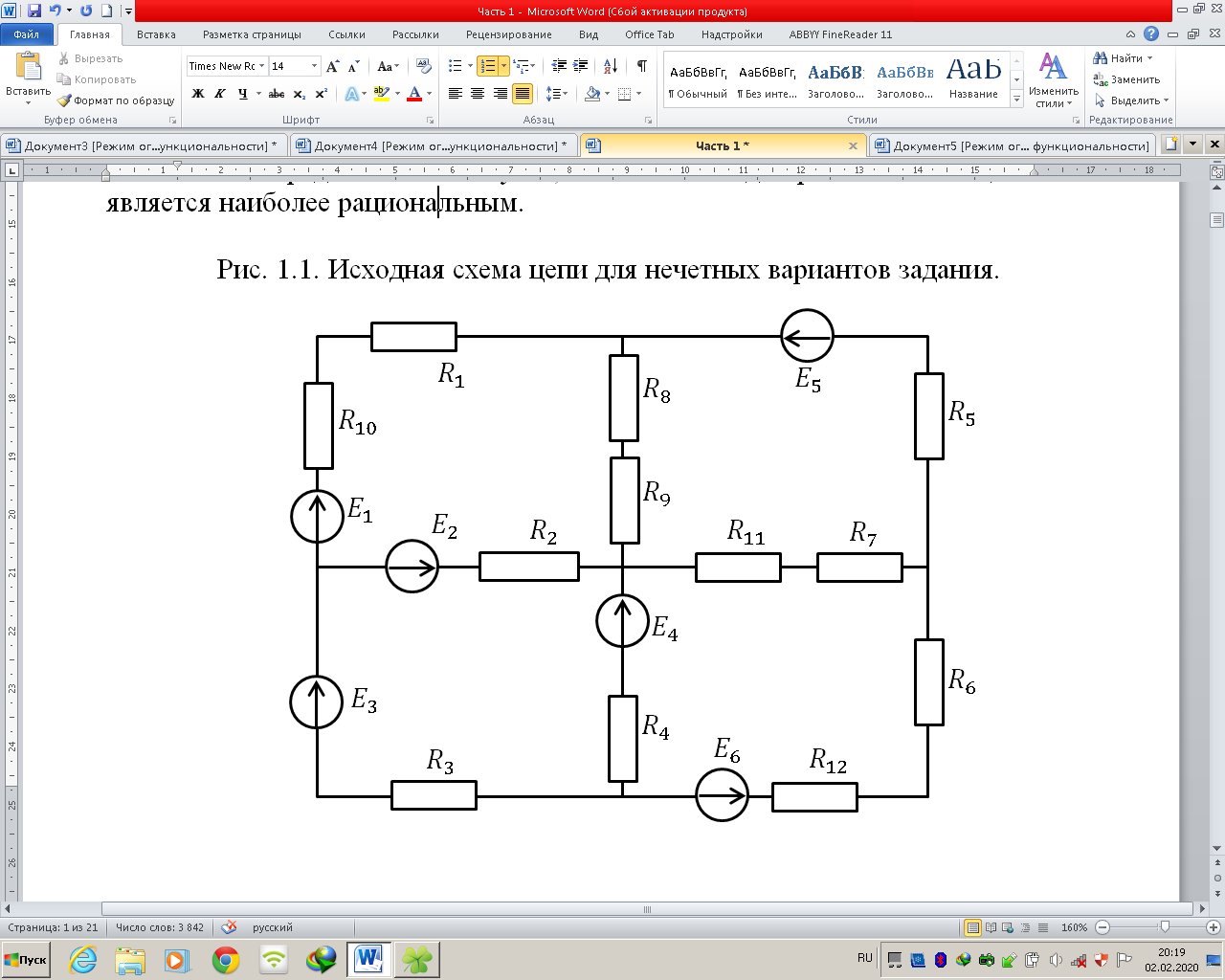


Рис. 1.1. Исходная схема цепи для нечетных вариантов задания

1. Запишите исходные данные для составления расчетной схемы цепи и ее расчета (табл. 1.1, 1.2).
2. Определите число узлов (), общее число ветвей (), а также число ветвей, в которых включен источник тока () в расчетной схеме. Определите число уравнений, которое надо составить для расчетной схемы по I и II законам Кирхгофа. Выберите условно-положительное направление токов ветвей и укажите их на расчетной схеме цепи.
3. Составьте уравнения для расчета токов ветвей с применением законов Кирхгофа.
4. Составьте уравнения для расчета токов ветвей методом узловых потенциалов. Рассчитайте потенциалы узлов цепи и токи ветвей расчетной схемы.
5. Составьте уравнения для расчета токов ветвей методом контурных токов. Рассчитайте контурные токи, рассчитайте токи ветвей.
6. Подставьте полученные значения токов в уравнения, составленные по законам Кирхгофа (пункт 4). Проверьте равенство левой и правой части уравнений.
7. Составьте уравнения и рассчитайте баланс мощности цепи.
8. Определите и обоснуйте, какой из методов расчета токов цепи является наиболее рациональным.

Т а б л и ц а 1.1

Данные для составления расчетной схемы по рис. 1.1 (нечетные варианты)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Институт мехатроники и информационных технологий (ИМИТ)**  **Текстильный институт имени А.Н. Косыгина (ТИ им. А.Н. Косыгина)**  **Институт химических технологий и промышленной экологии (ИХТПЭ)**  **Технологический институт легкой промышленности (ТИЛП)** | | | | |
| ***1*** | ***2*** | ***3*** | ***4*** | ***5*** |
| **Вариант** | **Принять равным ∞ (бесконечности)** | **Принять равным 0 (нулю)** | **Заменить E на** | **Заменить E на J=2** |
| 1 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |
| 9 |  | , |  |  |
| 11 |  | , , |  |  |
| 13 |  | , |  |  |
| 15 |  | , , |  |  |
| 17 |  | , , |  |  |
| 19 |  | , |  |  |
| 21 |  | , , |  |  |
| 23 |  | , |  |  |
| 25 |  |  |  |  |
| 27 |  | , |  |  |
| 29 |  | , |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 1 |  | , |  |  |
| 3 |  | , |  |  |
| 5 |  | , |  |  |
| 7 |  | - |  |  |
| 9 |  |  |  |  |
| 11 |  |  |  |  |
| 13 |  |  |  |  |
| 15 |  |  |  |  |
| 17 |  | - |  |  |
| 19 |  | , |  |  |
| 21 |  | , |  |  |
| 23 |  | , |  |  |
| 25 |  | , |  |  |
| 27 |  | , |  |  |
| 29 |  | , |  |  |

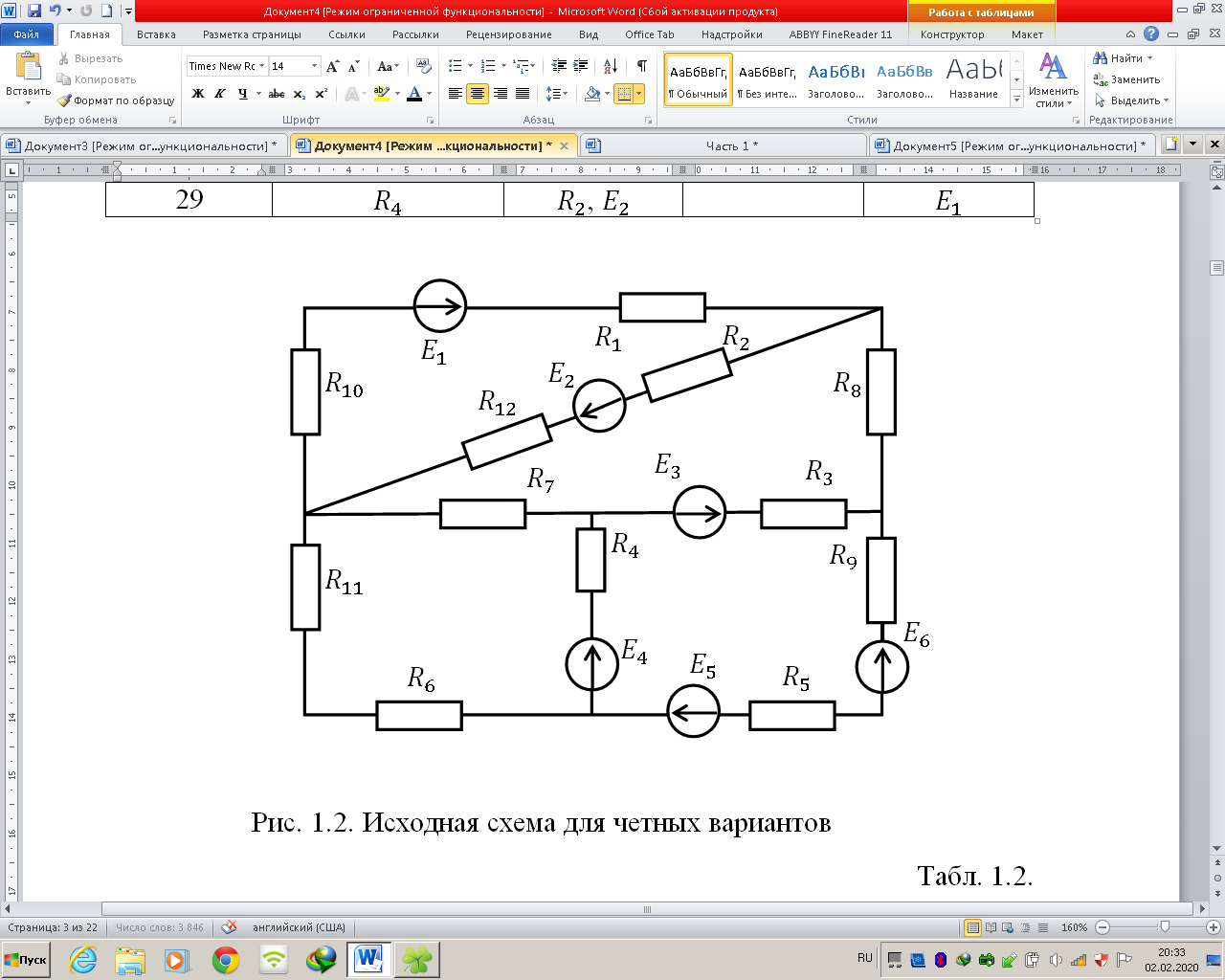


Рис. 1.2. Исходная схема для четных вариантов

Т а б л и ц а 1.2

Данные для составления расчетной схемы по рис. 1.2 (четные варианты)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Институт мехатроники и информационных технологий (ИМИТ)**  **Текстильный институт имени А.Н. Косыгина (ТИ им. А.Н. Косыгина)**  **Институт химических технологий и промышленной экологии (ИХТПЭ)**  **Технологический институт легкой промышленности (ТИЛП)** | | | | |
| ***1*** | ***2*** | ***3*** | ***4*** | ***5*** |
| **Вариант** | **Принять равным ∞ (бесконечности)** | **Принять равным 0 (нулю)** | **Заменить E на** | **Заменить E на J=1** |
| 0 |  | , |  |  |
| 2 |  | , |  |  |
| 4 |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |
| 8 |  | , |  |  |
| 10 |  | , |  |  |
| 12 |  | - |  |  |
| 14 |  | - |  |  |
| 16 |  |  |  |  |
| 18 |  | , |  |  |
| 20 |  | , |  |  |
| 22 |  | , |  |  |
| 24 |  | , |  |  |
| 26 |  | , |  |  |
| 28 |  | , |  |  |
| 30 |  | , |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 4 |  | , |  |  |
| 6 |  |  |  |  |
| 8 |  | , |  |  |
| 10 |  | , |  |  |
| 12 |  |  |  |  |
| 14 |  |  |  |  |
| 16 |  |  |  |  |
| 18 |  | , |  |  |
| 20 |  | , |  |  |
| 22 |  | - |  |  |
| 24 |  |  |  |  |
| 26 |  |  |  |  |
| 28 |  |  |  |  |
| 30 |  | , |  |  |

**Указания к выполнению домашнего задания № 1**

Расчет цепей постоянного тока обычно сводится к определению токов в ветвях схемы или каких-либо других электрических параметров цепи (ЭДС, сопротивлений). Число неизвестных при этом не должно превышать число ветвей схемы (), в противном случае задача становится неопределенной.

В данном домашнем задании необходимо определить токи ветвей схемы, все остальные электрические параметры цепи известны.

Составление расчетной схемы по исходной схеме для каждого варианта осуществляется по данным табл. 1.1 или 1.2. При составлении расчетной схемы цепи надо учитывать, что если в таблицах 1.1 или 1.2 указано, что:

- одно из сопротивлений ветви равно бесконечности, то это означает обрыв цепи, ток в данной ветви равен нулю и на расчетной схеме эта ветвь рис. 1.3. а изображается так, как показано на рис. 1.3. б.

2

2

1

1

а б

Рис. 1.3

- сопротивление ветви **R** и величина ЭДС в исходной схеме рис. 1.4,а равны нулю, то это означает, что эти элементы в расчетной схеме закорочены, а этот участок цепи изображается так, как показано на рис. 1.4, б. Потенциалы точек и становится одинаковыми: = .

2

E

1

R

2

1

а б

Рис. 1.4

- один из элементов ветви (R или E) исходной схемы равен нулю, то это означает, что этот элемент в расчетной схеме будет закорочен, а все остальные элементы останутся на расчетной схеме без изменений. Эта ветвь рис. 1.5, а (при R = 0) или 1.6, а (при E = 0) будет изображена так, как показано на рис. 1.5, б или 1.6, б:

E

E

R

E

R

R

2

2

2

1

1

1

1

2

а б а б

рис. 1.5 рис. 1.6

Примеры составления расчетной схемы цепи по исходной схеме, для варианта № 0, табл. 1.2 – см. в разделе 1.5, пример 1.1, рис. 1.9, и пример 1.2, рис. 1.10.

**1.1. Расчет цепи с применением законов Кирхгофа**

1. Определяется число узлов цепи – . Узел – это точка, в которой сходятся не менее трех ветвей.

2. Определяется число ветвей цепи – . Ветвь – это участок цепи между двумя узлами, все элементы которого соединены последовательно (по всем элементам протекает один и тот же ток). При наличии в схеме источников тока отдельно определяется число ветвей, содержащих этот элемент – .

3. Произвольно выбирается и указывается на схеме стрелками условно-положительные направления токов. Если окажется, что направление какого-то тока выбрано неверно, то при расчете этот ток получится отрицательным. Изменять направление этого тока на схеме не надо, так как все уравнения составлены для выбранных направлений токов.

4. Составляются уравнения по I и II законам Кирхгофа.

I закон Кирхгофа – алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

Число уравнений, которое надо составить для цепи по I закону Кирхгофа равно ().

II закон Кирхгофа – алгебраическая сумма падений напряжений в замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС этого контура:

Число уравнений, которое надо составить по II закону Кирхгофа, равно ()). Для составления уравнений по II закону Кирхгофа выбирается ()) независимых контуров. Независимым называется такой контур, в который входит хотя бы одна ветвь, не входившая в другие контуры. Направление обхода контура выбирается произвольно, при наличии в схеме ветвей, содержащих источник тока J, выбираются контуры, в которые не входят эти ветви. Число уравнений по II закону Кирхгофа в этом случае равно:

При составлении уравнений по II закону Кирхгофа падение напряжения на сопротивлении и ЭДС берутся со знаком «плюс», если они совпадают с выбранным произвольно направлением обхода контура и со знаком «минус», если направлены противоположно. После составления уравнений по I и II законам Кирхгофа получаем систему из (или ) уравнений, решая которую можно определить неизвестные токи.

Примеры составления уравнений по законам Кирхгофа см. в разделе 1.5, (примеры 1.1 и 1.2).

Составление и решение системы с большим числом уравнений вызывает определенные сложности. Для сокращения числа уравнений пользуются производными методами: методом узловых потенциалов и методом контурных токов.

**1.2. Метод узловых потенциалов (МУП)**

МУП позволяет сократить число уравнений, которые надо составить для данной цепи по законам Кирхгофа до числа уравнений, которые составляются по I закону Кирхгоф (). Этот метод удобно применять для схем, где мало узлов и много ветвей.

**Алгоритм расчета**

1. Определяем число узлов цепи. Потенциал одного из узлов принимаем равным нулю, например, пусть

2. Записываем уравнения для расчета потенциалов остальных () узлов. Для цепи, имеющей 3 узла, они имеют вид:

(1)

3. Определяем и вычисляем значения и коэффициентов и параметров, входящих в систему уравнений (1).

Собственная проводимость первого узла – сумма проводимостей всех **n** ветвей, подходящих к 1 узлу;

Собственная проводимость второго узла – сумма проводимостей всех **m** ветвей, подходящих ко 2 узлу;

Взаимная проводимость первого и второго узлов – сумма проводимостей всех **k** ветвей, включенных между 1 и 2 узлами (или 2 и 1 узлами);

– узловой ток, равный сумме произведений ЭДС каждой из (**n**) ветвей, подходящих к 1 узлу на проводимость соответствующей ветви;

– узловой ток, равный сумме произведений ЭДС каждой из (**m**) ветвей, подходящих ко 2 узлу на проводимость этой ветви;

– алгебраическая сумма токов источников тока, расположенных в ветвях, подходящих к первому узлу;

– алгебраическая сумма токов источников тока, расположенных в ветвях, подходящих ко второму узлу.

Произведение и ток берется со знаком «плюс», если соответствующая ЭДС или ток J направлены к узлу, для которого записывается уравнение и со знаком «минус», когда ЭДС и ток J направлены от этого узла.

4. Полученные в пункте 3 значения подставляем в систему уравнений составленных в п. 2 и определяем потенциалы узлов и .

5. По обобщенному закону Ома определяем токи цепи:

E

R2

R1

A

B

B

A

R

E

I

I

а б

Рис.1.7

– потенциал точки, от которой направлен ток I [B];

– потенциал точки, к которой направлен ток I [B];

*E* – ЭДС, берется со знаком «плюс», если ее направление совпадает с направлением тока и со знаком «минус», если их направления противоположны, [B];

*q* – проводимость ветви (величина обратная общему сопротивлению ветви);

Для схемы рис. 1.7, а:

Для схемы рис. 1.7, б:

Пример расчета цепи по МУП приведен в пункте 1.5, примеры 1.1 и 1.2.

**1.3. Метод контурных токов (МКТ)**

МКТ позволяет сократить число уравнений, которые составляются для расчета данной цепи, до числа уравнений, которые составляются по II признаку Кирхгофа При расчете по МКТ вводится понятие «контурный ток», т.е. ток, протекающий по всем элементам выбранного контура. Метод особенно эффективен при расчете цепей, содержащих источники тока.

**Алгоритм расчета**

1.Выбираем независимых контуров. В качестве «независимых» выбираются контуры, в которые входит хотя бы одна ветвь, не входившая в предыдущие контуры. Для цепи содержащей источники тока, число таких контуров равно При этом выбираются контуры, которые не содержат источники тока J.

2. Для этих контуров выбираем (произвольно) и обозначаем стрелкой условно-положительные направления контурных токов Число контурных токов равно .

3. Составляем систему уравнений по II закону Кирхгофа для выбранных контуров. Для трех контуров эта система записывается следующим образом:

Если цепь содержит источник тока, то контурный ток протекающий по ветви содержащей источник тока J, будет равен току источника:

4.Определяем и вычисляем значения собственных и взаимных сопротивлений контура:

– сумма сопротивлений всех ветвей контура «11», Ом;

*–* сумма сопротивлений всех ветвей контура «22», Ом;

– сумма сопротивлений всех ветвей контура «33», Ом;

– сумма сопротивлений ветвей, включенных между контурам «11» и «22», Ом;

– сумма сопротивлений ветвей, включенных между контурами «11» и «33», Ом;

– сумма сопротивлений ветвей, включенных между контурами «22» и «33», Ом;

– алгебраическая сумма ЭДС контура «11, 22 и 33» Ом;

5. Полученные в пункте 4 величины подставляем в систему уравнений составленных в п. 3 и рассчитываем значения контурных токов

По значения контурных токов определяем токи ветвей с учетом их направления и направления контурных токов (рис. 1.8).

Рис. 1.8

Примеры расчета цепи по МКТ приведены в разделе 1.5, (см. примеры 1.1 и 1.2).

**1.4. Баланс мощности**

Алгебраическая сумма мощностей источников электроэнергии равна алгебраической сумме мощностей приемников электроэнергии:

При составлении баланса мощности:

- произведение берется со знаком «плюс», если направление ЭДС и тока совпадают. В этом случае активный элемент цепи работает в режиме источника (генератора) электроэнергии;

- произведение берется со знаком «минус», если ЭДС и направлены на встречу друг другу. В этом случае активный элемент работает в режиме приемника электроэнергии;

- произведение берется со знаком «плюс» если направлено против стрелки источника тока и со знаком «минус», если и совпадают по направлению;

- если в результате предыдущих расчетов ток получился отрицательным, то при выполнении расчетов по составленному уравнению баланса мощности источника, он войдет в произведение со знаком «минус».

Пример составление баланса мощности см. в разделе 1.5.

**1.5. Примеры расчета**

Пример 1.1. Вариант 0 (табл. 1.2.) без замены источника ЭДС на источник тока.

1. Исходная схема – рис. 1.2.

2. Исходные данные для составления расчетной схемы и ее расчета (табл. 1.1, 1.2).

p = 48, N = 0

= 20 + 2p + 3N = 116 B. = 82 B. = 0 (табл. 1.2.) = 34 B.

= 30 + p +2N = 78 B. = 28 B.

= (табл. 1.2.) = 68 Ом. = 0 (табл. 1.2.) = 32 Ом.

= 10 + p + 4N = 58 Ом. = 48 Ом. = 32 + p = 80 Ом.

= 56 Ом. = 42 + p + 2N = 90 Ом. = 54 Ом.

= 28 + p + 2N = 76 Ом. = 66 Ом.

3. Расчетная схема цепи (рис. 1.9), составляется по исходной схеме с учетом данных табл. 1.2 варианта 0 ( = , = 0, = 0).

4. Число узлов цепи = 3. Число ветвей цепи = 5. Число уравнений, которое надо составить по I и II законам Кирхгофа равно 5. Число уравнений по I закону Кирхгофа ( – 1) = 3 – 1 = 2. Число уравнений по II закону Кирхгофа (, Выбираем условно-положительное направление токов (произвольно).

5. Составляем уравнения по I и II законам Кирхгофа. Направление обхода контуров выбираем произвольно по часовой стрелке.

(3)

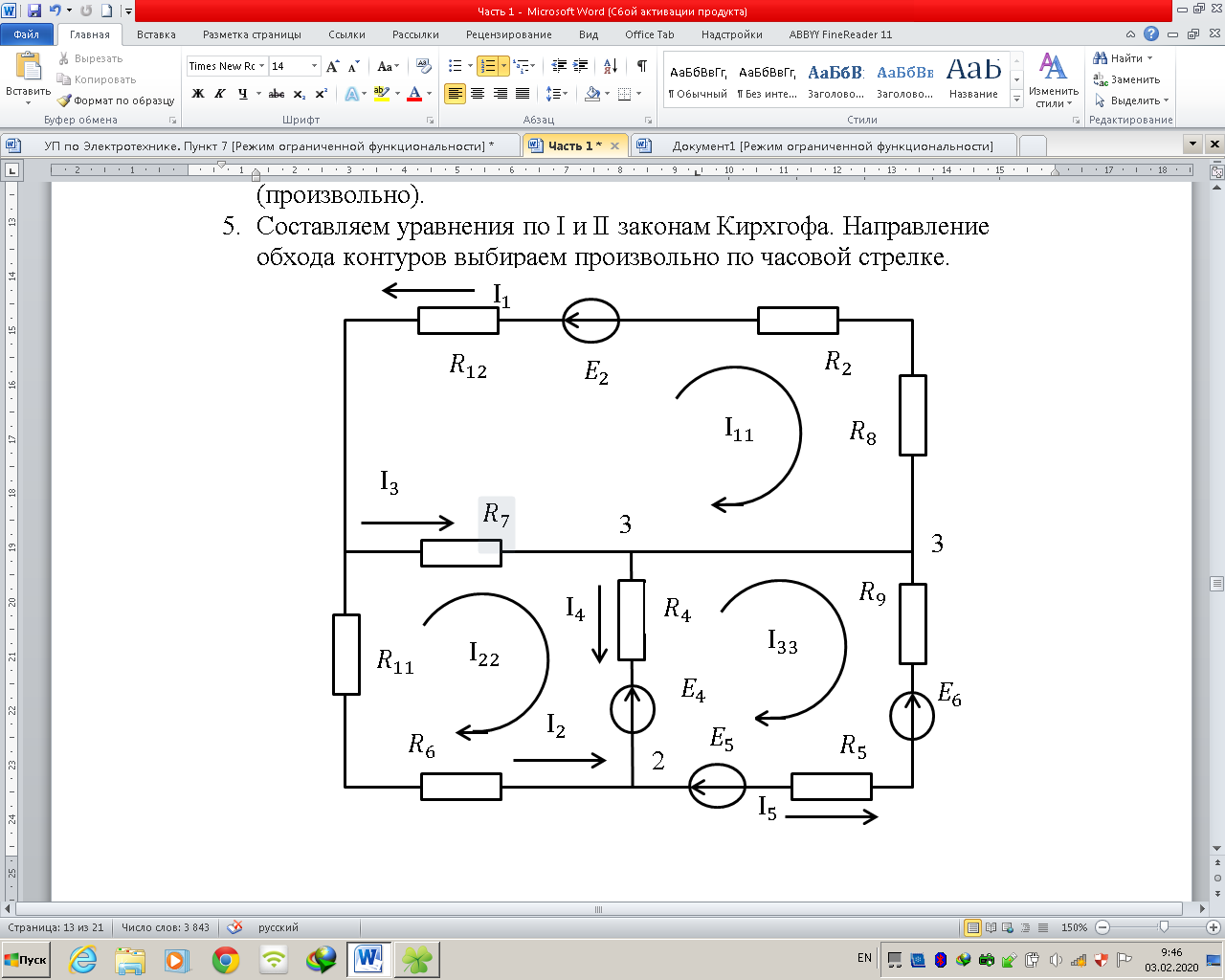


Рис. 1.9

Подставляем в систему (1) известные числовые данные:

;

;

; (4)

**Решать систему (4) и находить токи ветвей в пункте 5 не требуется!**

6. Составляем уравнения по методу узловых потенциалов.

Так как по 1 закону Кирхгофа для данной цепи необходимо составить 2 уравнения, то и по МУП составляем 2 уравнения. Принимаем значение потенциала третьего узла равным нулю: Воспользуемся системой уравнений (1), составленной для схемы имеющей три узла. Определим коэффициенты, входящие в указанные уравнения:

1///

1///

1/

//

/ + )///

Подставляем в систему (1) полученные данные:

*=* 0,431; (5)

*=* 0,725.

Решаем систему уравнений (5) и определяем потенциалы узлов: Затем определяем токи ветвей:

//

//

/ //

//

Знак «минус» токов и показывает, что на самом деле эти токи направлены в противоположную сторону.

7. Составляем уравнения по методу контурных токов.

Так как по II закону Кирхгофа надо составить 3 уравнения, то и по МКТ составляем 3 уравнения. Выбираем три независимых контура, по которым протекают условные контурные токи Направления контурных токов выбираются произвольно: в данном случае, совпадающими с направлениями обхода контуров, выбранными при составлении уравнений по законам Кирхгофа в п. 5. Воспользуемся теперь системой уравнений (2) и определим величину входящих в нее коэффициентов:

Подставляем в систему (2) полученные данные:

– – 0 = - 82;

– = - 34; (6)

= 84;

Решаем систему (6) и получаем значения контурных токов:

Определим токи ветвей:

Результаты вычислений, проведенных по методу узловых потенциалов и контурных токов, практически совпали.

8. Правильность расчетов, а также уравнений составленных по законам Кирхгофа проверим, подставив их значения найденные по МУП и МКТ в систему (4):

9. Баланс мощности цепи:

10. Наиболее рациональным методом расчета для данной цепи является метод узловых потенциалов, так как при решении необходимо составить наименьшее число уравнений – 2.

Равенство токов полученных при расчете по МУП и МКТ, проверка по законам Кирхгофа и равенство показывает, что расчет токов произведен правильно.

Пример 1.2. Вариант 0 (табл. 1.2.) после замены источника ЭДС на источник тока J = 1 A.

1. Исходная схема рис. 1.2.

2.Исходные данные для составления расчетной схемы и ее расчета (табл. 1.1, 1.2). Источники ЭДС заменяется на источник тока J = 1 A.

p = 48, N = 0.

J = 1 A.

3. Расчетная схема цепи (рис. 1.10), составляется по исходной схеме с учетом данных табл. 1.2 варианта 0 ( заменяется на источник тока J).

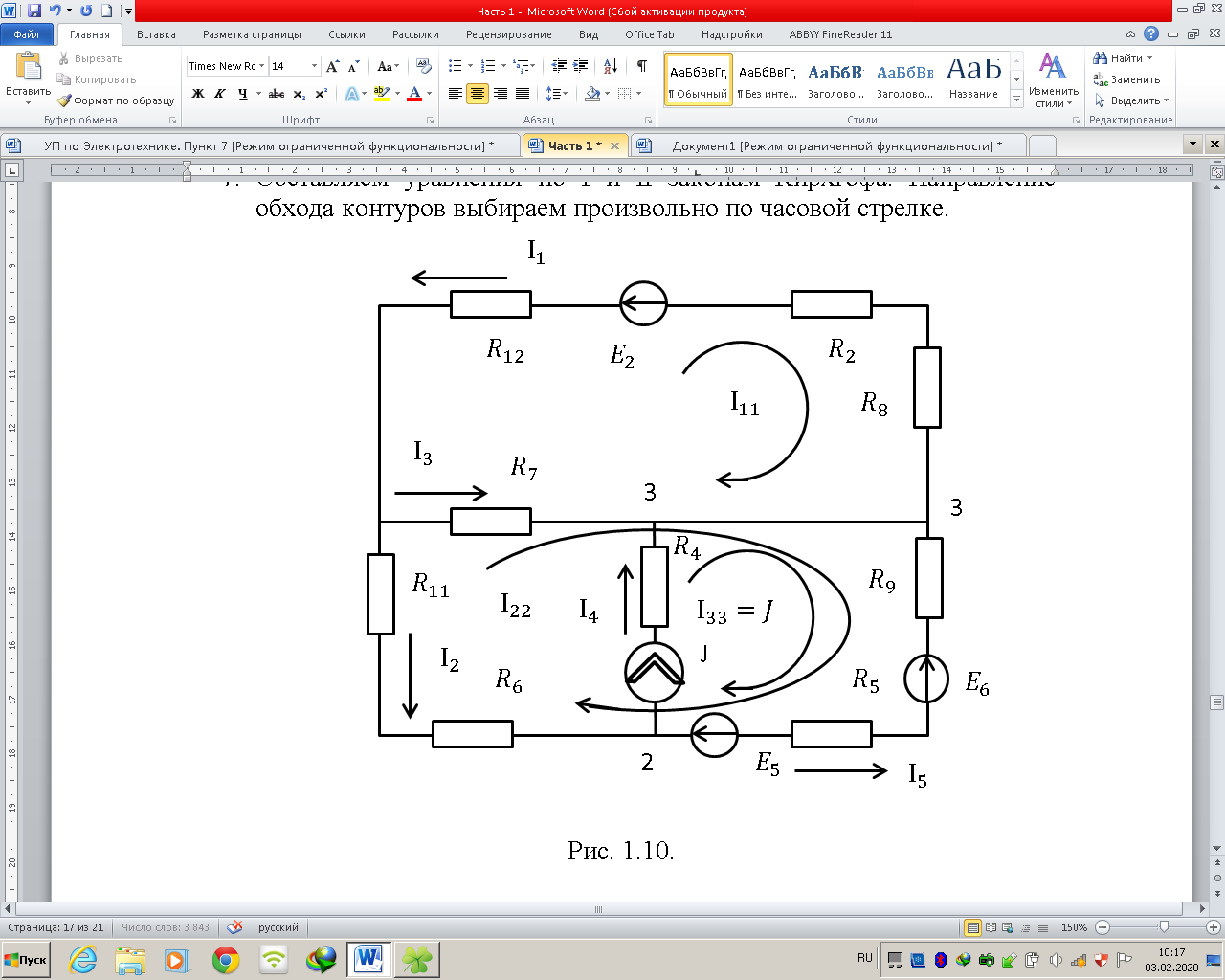


Рис. 1.10

4. Число узлов цепи по-прежнему Не изменилось и число ветвей цепи Но теперь для расчета токов будет достаточно составить только четыре уравнения по I и II законам Кирхгофа. Число уравнений по I закону Кирхгофа ( а число уравнений по II закону Кирхгофа ( ( Выбираем условно-положительное направление токов (произвольно). Выбираем два независимых контура, в которые не входит ветвь с источником тока:

5. Составляем уравнения по I и II законам Кирхгофа. Направление обхода контуров выбираем произвольно по часовой стрелке.

(7)

Подставляем в систему (1) известные числовые данные:

(8)

6. Составляем уравнения по методу узловых потенциалов.

Так как по I закону Кирхгофа для данной цепи необходимо составить 2 уравнения, то и по МУП составляем 2 уравнения. Принимаем значение потенциала третьего узла равным нулю: Воспользуемся системой уравнений (1), составленной для схемы с источником тока, имеющей три узла:

Определим коэффициенты, входящие в указанные уравнения:

///

/ + 1/ = 0,008 + 0,0067 = 0,0147 [сим].

= 0,008 [сим].

*/*/190 = 0,431 [A].

*//*

Подставляем в систему (1) полученные данные:

Решаем систему уравнений (9) и определяем потенциалы узлов: Затем определяем токи ветвей по обобщенному закону Ома:

+/ = (0 – 3,28 + 82)/190 = 0,414 A,

//

/

//

7. Составляем уравнения по методу контурных токов.

Так как по II закону Кирхгофа для схемы на рис. 1.9 надо составить два уравнения, то такое же число уравнений будем составлять и по МКТ. Выбираем те же независимые контуры, для которых составлялись уравнения по второму закону Кирхгофа и направим по ним условные контурные токи Направления контурных токов выбираются произвольно. Однако число независимых контуров в схеме равно трем. Поэтому третий контурный ток выберем протекающим по контуру и равным току источника тока

Воспользуемся теперь системой уравнений (2) и определим величину входящих в нее коэффициентов:

(10)

Подставляем в систему (10) полученные данные:

270 (11)

-80

Решаем систему (11) и получаем значения контурных токов:

Определим токи ветвей:

Результаты вычислений, проведенных по методу узловых потенциалов и контурных токов, практически совпали.

8. Правильность расчетов, а также уравнений составленных по законам Кирхгофа проверим, поставив их значения найденные по МУП и МКТ в систему (7):

=80

9. Баланс мощности цепи:

где

*+++*

10. Для расчета цепи по рис. 1.9 метод узловых потенциалов и метод контурных токов оказались равноценными, так как при решении и в первом и во втором случаях необходимо составить два уравнения.

Равенство токов полученных при расчете по МУП и МКТ, проверка по законам Кирхгофа и равенство показывает, что расчет токов произведен правильно.

**1.6. Контрольные вопросы**

1. Ток, протекающий по всем элементам цепи (ветви) при последовательном соединении, будет \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

2. При параллельном соединении ветвей цепи, все ветви находятся под одним \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

3. Закон Ома для активного участка цепи (обобщенный закон Ома) записывается в виде: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

4. Число уравнений, которое надо составить для расчета токов цепи по законам Кирхгофа, равно числу \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

5. По I закону Кирхгофа для расчета токов цепи, имеющей «» узлов, можно составить \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ независимых уравнения.

6. По II закону Кирхгофа для расчета токов цепи, имеющей «» узлов и «» ветвей, надо составить\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ уравнений.

7. По методу узловых потенциалов число уравнений, которое надо составить для расчета потенциалов узлов равно \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

8. По методу контурных токов для расчета контурных токов цепи надо составить \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ уравнений.

9. Контурный ток, это ток который \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

10. Мощность источников электроэнергии цепи равна \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

11. Мощность приемников электроэнергии цепи равна \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

12. Электрическая машина работает в режиме источника энергии (генератора), если направление ее ЭДС и тока \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

13. Электрическая машина работает в режиме приемника энергии, если направление ее ЭДС и тока \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

14. Если значение тока при расчете цепи с несколькими ЭДС получилось отрицательным, то это значит, что ток ветви \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

15. Если одно из сопротивлений ветви равно бесконечности, то ток ветви \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

16. В цепи с одними источником ЭДС, ток направлен от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

полюса источника к \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.