

МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2017 г.



ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

методическое указание к выполнению лабораторной работы

по теоретическим основам электротехники

Для студентов направления подготовки

«Электроэнергетика и электротехника»

Курск 2017

УДК 621.301

Составитель Л.В. Плесконос

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения

А.Л. Овчинников

Исследование цепей постоянного тока. Методическое указание к выполнению лабораторной работы по теоретическим основам электротехники для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л.В. Плесконос. г. Курск, 2017, 21 с.: ил. 10, табл. 12. Библиогр.: с.21.

Излагаются методические указания и теоретический материал, необходимый для выполнения работы.

Предназначены для студентов направления подготовки

"Электроэнергетика и электротехника"

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *3.04.17* Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. *1,2* Уч.-изд. л. *10* Тираж 150 экз. Заказ *457* Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Цель работы.

Экспериментальное подтверждение законов Ома и Кирхгофа.

Экспериментальное подтверждение метода контурных токов.

Экспериментальное подтверждение метода наложения.

Экспериментальное подтверждение метода двух узлов.

Экспериментальное подтверждение метода эквивалентного генератора.

1. Основные теоретические положения.

Электрической цепью называется совокупность устройств, служащих для протекания электрического тока. Основными элементами электрической цепи являются: источники энергии, приёмники и провода их соединяющие.

Закон Ома.

Закон Ома для участка цепи: ток в проводнике I равен отношению падения напряжения U на участке цепи к её электрическому сопротивлению R

$$I = \frac{U}{R}$$

Обобщенный закон Ома для замкнутой электрической цепи: Ток в замкнутой одноконтурной цепи равен отношению алгебраической суммы всех ЭДС к арифметической сумме всех сопротивлений. Перед расчетом выбирают направление обхода контура и считают это направление за положительное направление тока. При определении алгебраической суммы ЭДС со знаком плюс берут те ЭДС, направления которых совпадают с выбранным положительным направлением тока и со знаком минус - ЭДС с противоположным направлением (рис. 1.1)

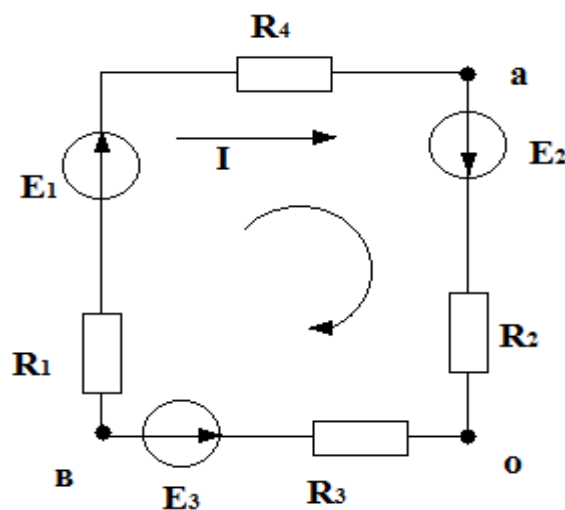


Рис.1.1. Одноконтурная цепь постоянного тока.

По обобщенному закону Ома ток:

$$I = \frac{E_1 + E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

Закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС.

Выбираем участок $a - o - в$ (рис. 1.1). Закон Ома для этого участка записывается в следующем виде:

$$I = \frac{U_{ab} + E_2 - E_3}{R_1 + R_2}$$

Со знаком плюс берут те ЭДС, которые совпадают с направлением тока и со знаком минус - ЭДС с противоположным направлением.

Законы Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа, алгебраическая всех токов, втекающих в узел равна нулю. Токи, втекающие в узел условно принимаются положительными, а вытекающие из него отрицательными или наоборот (рис. 1.2).

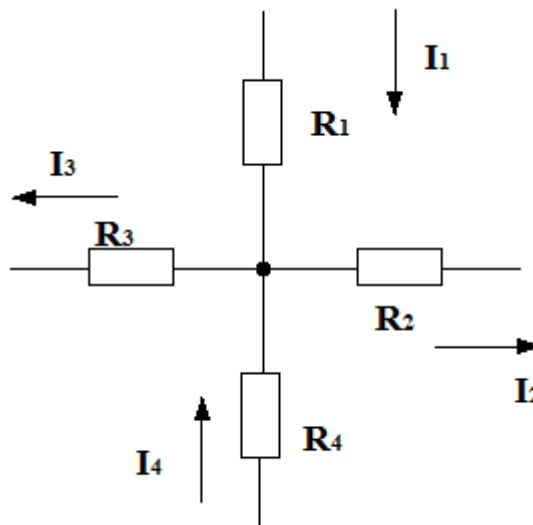


Рис.1.2. Иллюстрация к первому закону Кирхгофа

По первому закону Кирхгофа:

$$I_1 + I_4 - I_2 - I_3 = 0.$$

Число уравнений K_1 составленных по первому закону Кирхгофа для электрической схемы на единицу меньше числа её узлов $У$:

$$K_1 = U - 1.$$

Второй закон Кирхгофа: Алгебраическая сумма напряжений на элементах, входящих в замкнутый контур, равна алгебраической сумме ЭДС, включенных в этот

контур:

По первому закону Кирхгофа:

$$I_1 + I_4 - I_2 - I_3 = 0.$$

Число уравнений K_1 составленных по первому закону Кирхгофа для электрической схемы на единицу меньше числа её узлов U :

$$K_1 = U - 1.$$

Второй закон Кирхгофа: Алгебраическая сумма напряжений на элементах, входящих в замкнутый контур, равна алгебраической сумме ЭДС, включенных в этот контур:

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{k=1}^n E_k$$

При применении Второго закона Кирхгофа необходимо учитывать направление ЭДС и выбранное направление токов. Направление обхода контура выбираем произвольно. ЭДС, направление которых совпадают с выбранным направлением обхода независимо от направления протекающего через них токов, принимаются положительными, а ЭДС обратного направления принимаются отрицательными. Падение напряжения IR на тех участках, в которых направление тока совпадают с направлением обхода, берутся со знаком плюс, и со знаком минус - на участках, в которых положительное направление тока противоположно направлению обхода.

На (рис. 1,3) показана электрическая схема одного из контуров электрической цепи с выбранными положительными направлениями токов в ветвях и обходом контура.

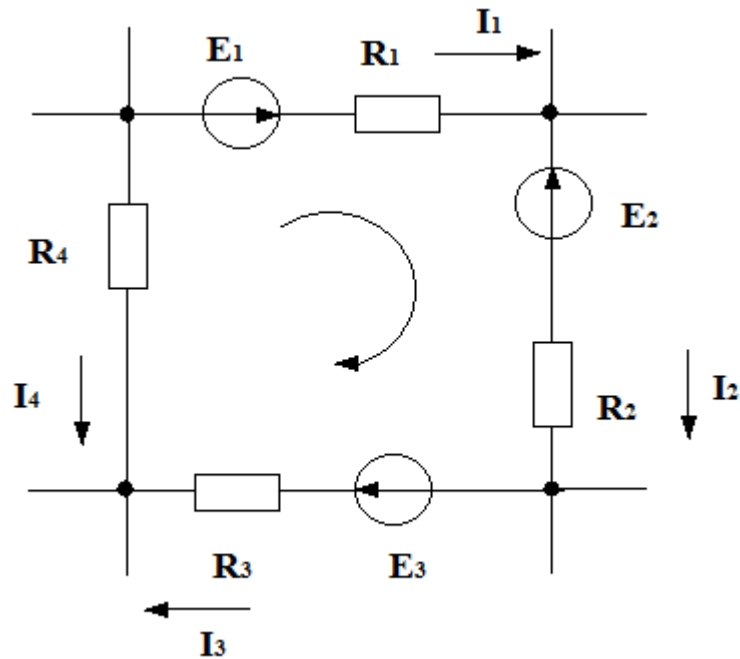


Рис. 1.3. Иллюстрация ко второму закону Кирхгофа.

Уравнение имеет вид:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 - I_4 R_4 = E_1 - E_2 + E_3$$

По второму закону Кирхгофа составляют число уравнений K_2 , равное числу ветвей B без ветвей с источниками тока Вист, за вычетом уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа.

$$K_2 = (B - B_{ист}) - (Y - 1).$$

Общее число уравнений, составленных по первому и второму законам Кирхгофа, равно числу неизвестных токов.

Законы Кирхгофа применяют для расчета сложных контурных, цепей.

Метод контурных токов.

По данному методу в замкнутых контурах определяются расчетные (а не реальные) контурные токи. Реальные контурные токи в смежных ветвях находятся как алгебраическая сумма контурных токов. В несмежных ветвях реальные токи будут равняться контурным. По методу контурных токов надо составить такое количество уравнений, какое необходимо составить для данной электрической схемы по второму закону Кирхгофа.

Рассмотрим электрическую схему (рис. 1.4) с двумя независимыми контурами I и II.

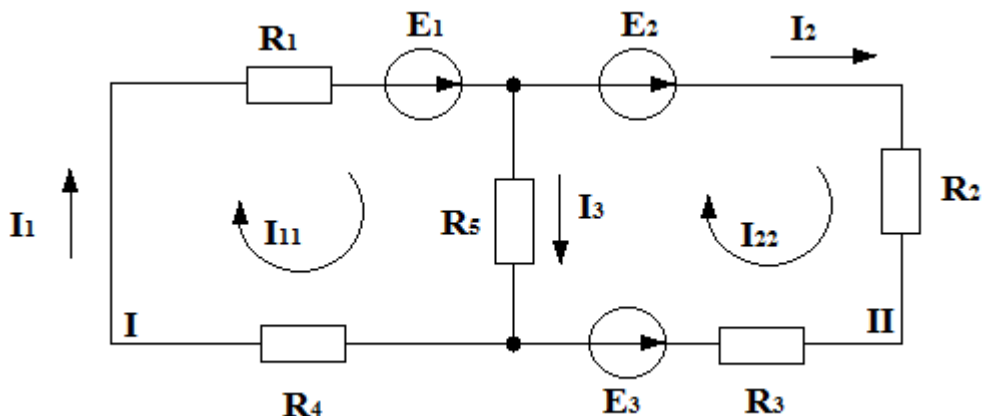


Рис. 1.4. Электрическая схема к расчету методов контурных токов.

Выбираем положительное направление контурных токов I_{11} и I_{22} , например, по часовой стрелке. Для контурных токов составим уравнения по второму закону Кирхгофа.

$$\begin{aligned}(R_1 + R_4)I_{11} + R_5(I_{11} - I_{22}) &= E_1, \\ (I_{22} - I_{11})R_5 + (R_2 + R_3)I_{22} &= E_2 - E_3,\end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}(R_1 + R_4 + R_5)I_{11} + (-R_5)I_{22} &= E_1, \\ (-R_5)I_{11} + (R_2 + R_3 + R_5)I_{22} &= E_2 - E_3.\end{aligned}$$

Перепишем систему уравнений в виде

$$\begin{aligned}I_{11}R_{11} + I_{22}R_{12} &= E_{11}, \\ I_{11}R_{21} + I_{22}R_{22} &= E_{22},\end{aligned}$$

где собственные сопротивления контуров

$$R_{11} = R_1 + R_4 + R_5, \quad R_{22} = R_2 + R_3 + R_5.$$

Они равны сумме сопротивлений, входящих в контуры и всегда положительны.

Взаимные сопротивления

$$R_{12} = R_{21} = (-R_5).$$

Взаимные сопротивления, если контурные токи по смежным сопротивлениям протекают в одну сторону положительные, если - в разные стороны, то отрицательные.

Контурные ЭДС равны алгебраической сумме ЭДС, входящих в контур.

$$E_{11} = E_1, \quad E_{22} = E_2 - E_3$$

Со знаком плюс входят те ЭДС направления, которых совпадают с направлением обхода контура и со знаком минус, если - не совпадают.

После определения контурных токов находят действительные токи в ветвях.

$$I_1 = I_{11}, \quad I_2 = I_{22}$$

В смежных ветвях действительный ток равен алгебраической сумме токов.

$$I_3 = I_{11} - I_{22}$$

При «*n*» независимых контуров, число уравнений также равно «*n*»

$$I_{11}R_{11} + I_{22}R_{12} + I_{33}R_{13} + \dots + I_{nn}R_{1n} = E_{11}$$

$$I_{11}R_{21} + I_{22}R_{22} + I_{33}R_{23} + \dots + I_{nn}R_{2n} = E_{22}$$

$$I_{11}R_{31} + I_{22}R_{32} + I_{33}R_{33} + \dots + I_{nn}R_{3n} = E_{33}$$

$$I_{11}R_{n1} + I_{22}R_{n2} + I_{33}R_{n3} + \dots + I_{nn}R_{nn} = E_{nn}$$

R_{nn}, R_{mn} – соответственно собственные и взаимные сопротивления контуров.

E_{nn} – контурные ЭДС

Метод наложения.

При расчете цепей методом наложения поступают следующим образом: поочередно рассчитывают частичные токи, возникающие от действия каждого источника в отдельности, мысленно удаляя остальные из схемы, но оставляя в схеме их внутренние сопротивления (источники напряжения закорачиваются, а источники тока обрываются). Затем находят действительные токи в ветвях путём алгебраического сложения частичных токов.

Определим токи для схемы на (рис. 1.5 а) методом наложения. В этой схеме все источники идеальные.

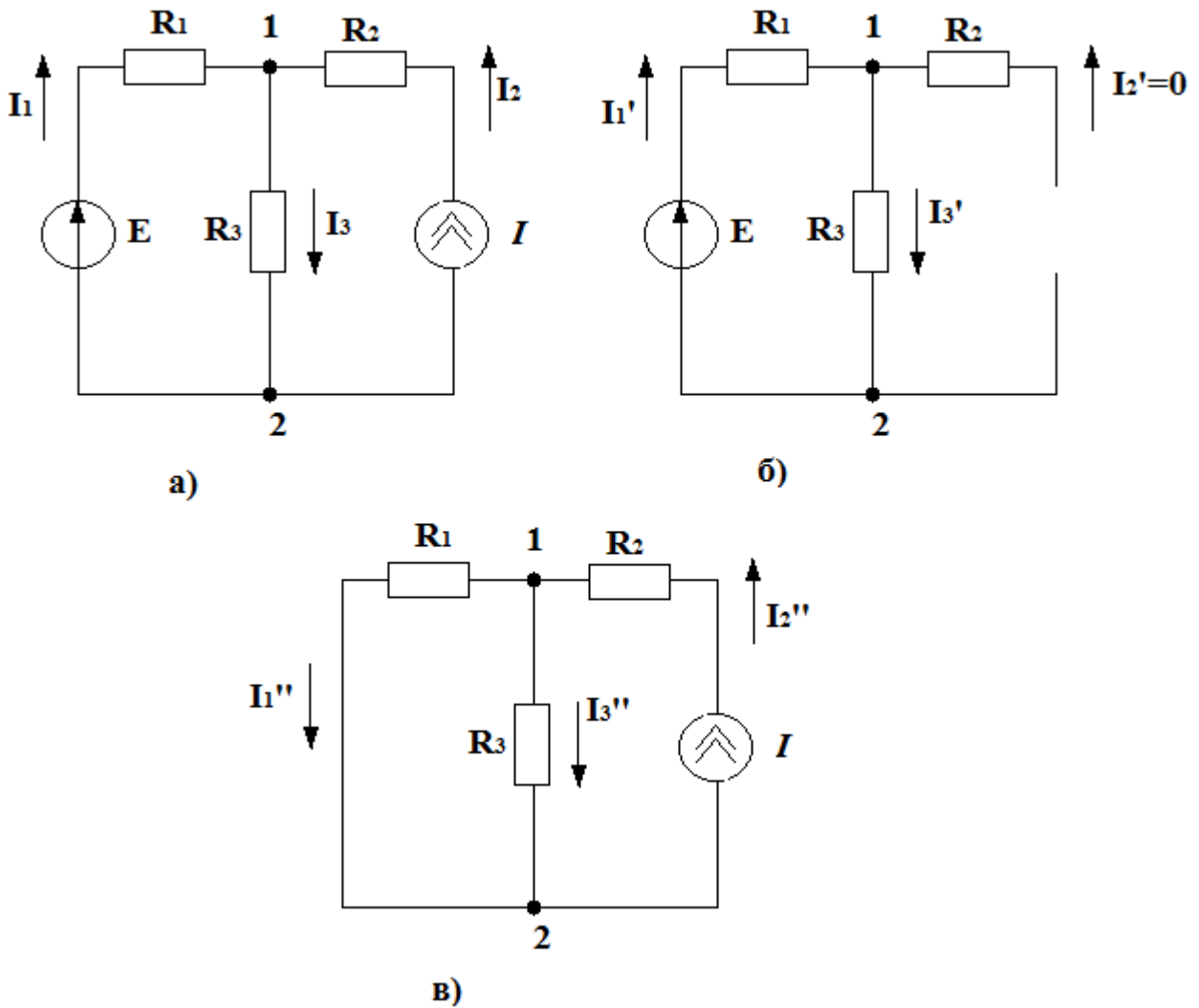


Рис. 1.5. Электрические схемы к расчету токов методом наложения.

Предположим, что действует только ЭДС E , а источника тока нет (источник обрван) $I=0$ (рис. 1.5 б)

В этом случае:

$$I_2' = 0, \quad I_1' = I_3' = \frac{E}{R_1 + R_2};$$

Предположим, что действует только источник тока I , а источника напряжения нет (источник закорочен) $E=0$ (рис. 1.5 в)

В этом случае:

$$I_2'' = I, \quad U_{12}'' = I \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}, \quad I_1'' = \frac{U_{12}''}{R_1} = I \frac{R_3}{R_1 + R_3},$$

$$I_3'' = \frac{U_{12}''}{R_3} = I \frac{R_1}{R_1 + R_3}.$$

Действительные токи в ветвях:

$$I_1 = I_1' - I_1'', \quad I_3 = I_3' - I_3'', \quad I_2 = I_2' = I$$

Метод двух узлов.

Если схема имеет только два узла (рис. 1.6), то для определения токов используют метод двух узлов (частный случай метода узловых потенциалов)

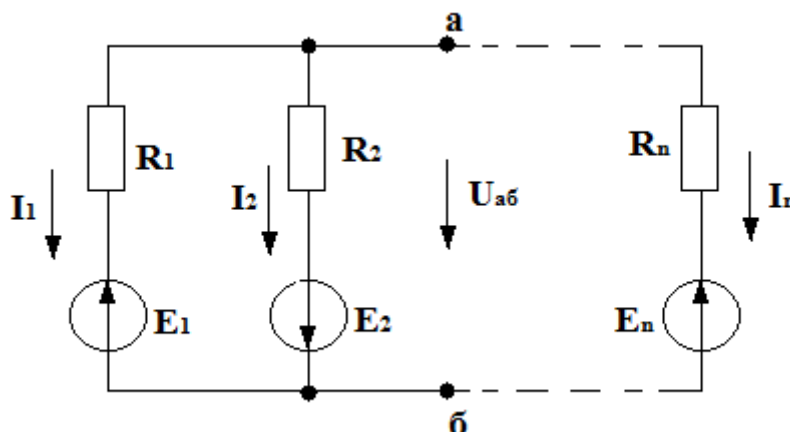


Рис. 1.6. Электрическая схема, имеющая два узла.

Напряжения между узлами «а» и «б»

$$U_{ab} = \frac{E_1 \frac{1}{R_1} - E_2 \frac{1}{R_2} + \dots + E_n \frac{1}{R_n}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}} = \frac{\sum_{k=1}^n E_k \frac{1}{R_k}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}}$$

Узловой ток $E_k \frac{1}{R_k}$ берётся с плюсом, если ЭДС E_k направлена в узел «а», и со знаком минус, если ЭДС направлен из узла «а».

Ток в «к» ветви по обобщенному закону Ома для участка цепи, содержащего ЭДС

$$I_k = \frac{U_{ab} \pm E_k}{R_k}$$

Преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду и соединение звездой в эквивалентный треугольник.

В ряде случаев для упрощения расчёта электрических схем целесообразно заменить соединение сопротивлений звездой (рис. 1.7 а) на треугольник (рис 1.7 б) и наоборот.

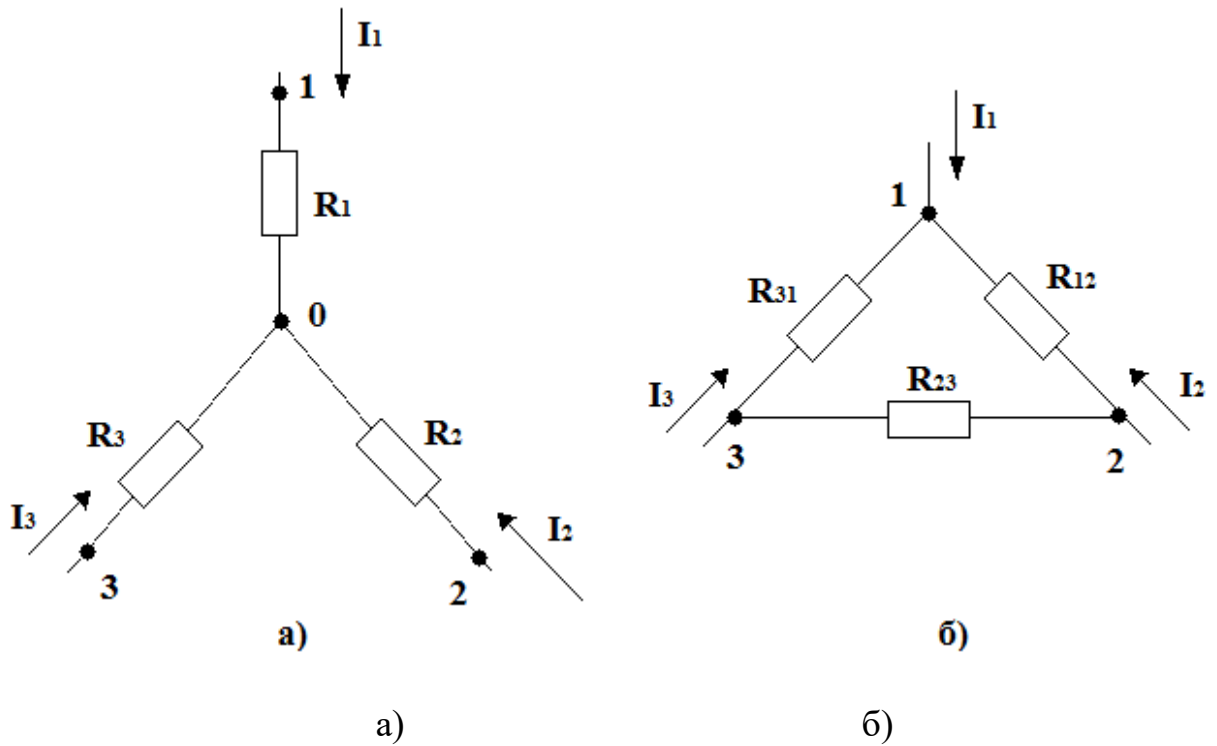


Рис. 1.7.Схемы соединения сопротивлений звездой (а) и треугольником (б).

Такая замена должна быть эквивалентной, т.е. в этом случае потенциалы узлов $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ или тоже что и токи, I_1, I_2, I_3 в остальной части схемы после преобразования должны оставаться неизменными. Это возможно в том случае, если при заданных сопротивлениях звезды R_1, R_2, R_3 , сопротивления сторон эквивалентного треугольника пересчитываются по формулам:

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}, \quad R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}, \quad R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}.$$

При заданных сопротивлениях сторон треугольника R_{12}, R_{23}, R_{31} сопротивления лучей эквивалентной звезды должны быть вычислены по формулам:

$$R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{m}, \quad R_2 = \frac{R_{23} R_{12}}{m}, \quad R_3 = \frac{R_{23} R_{31}}{m}, \quad m = R_{12} + R_{23} + R_{31}.$$

Метод эквивалентного генератора.

Метод эквивалентного генератора обычно используется при определении тока только в одной какой-либо ветви. Для этого выделяют ветвь, в которой необходимо найти ток, и рассматривают всю остальную цепь по отношению к выделенной ветви в виде активного двухполюсника.

Определим ток I_5 в цепи (рис. 1.8) методом эквивалентного генератора.

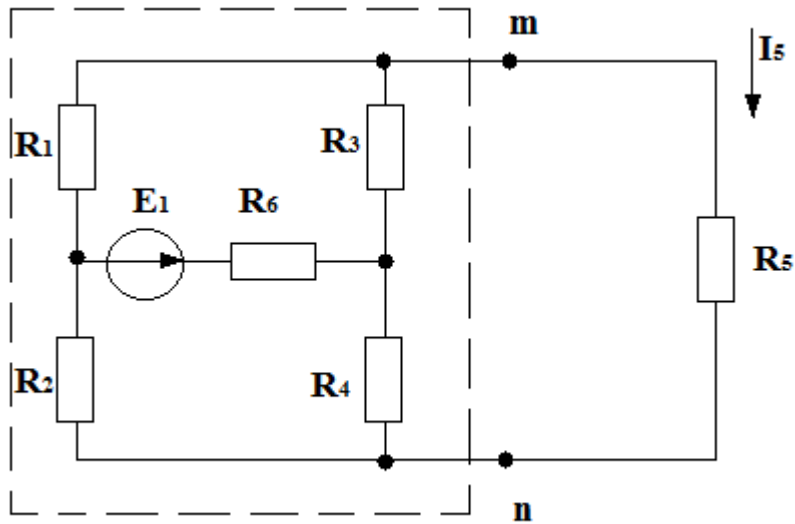


Рис. 1.8. Электрическая цепь к расчету тока методом эквивалентного генератора.

Выделяем ветвь с сопротивлением R_5 .

$$I_5 = \frac{U_{mнхх}}{R_{вн} + R_5}$$

где $U_{mнхх}$ - напряжение между точками «m» и «n» двухполюсника при разомкнутой ветви с сопротивлением R_5 .

$R_{вн}$ - внутреннее сопротивление пассивного двухполюсника по отношению к зажимам «m» и «n».

Активный двухполюсник можно рассматривать по отношению к ветви с сопротивлением R_5 как эквивалентный генератор с ЭДС, равной $U_{mнхх}$ и внутренним сопротивлением $R_{вн}$. Внутреннее сопротивление активного двухполюсника (эквивалентного генератора) можно определить либо расчетным путём, либо экспериментально - по опыту короткого замыкания $I_{кз}$:

$$R_{вн} = \frac{U_{mнхх}}{I_{кз}}$$

Расчетным путём $R_{вн}$ можно определить также следующим образом: устраняют из схемы активного двухполюсника все источники (ветви с источниками тока разрываются, а источники ЭДС в ветвях закорачиваются) и определяют сопротивление пассивного двухполюсника относительно точек m, n.

2. Порядок выполнения работы.

Собрать схему, изображённую на рис. 2.1

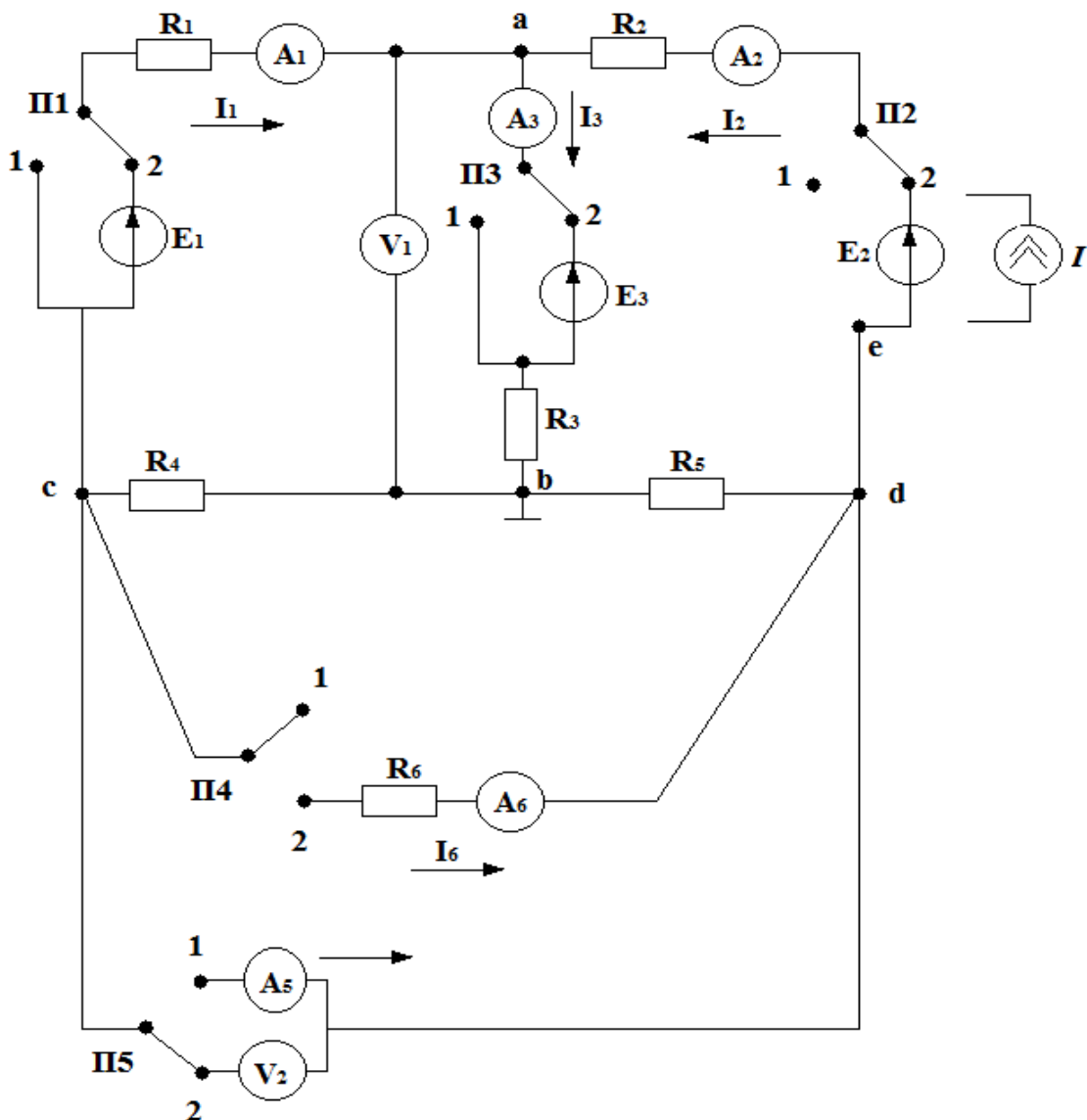


Рис. 2.1. Схема рабочей цепи.

2.1 Экспериментальное подтверждение законов Ома.

Поставить контакты переключателей схемы (рис. 2.1) в положение, указанное в табл.2.1. Замкнутой положение контактов обозначено X.

табл. 2.1

Положение контактов переключателей.									
П1		П2		П3		П4		П5	

Установить величину источников E и сопротивлений R , указанных преподавателем.

Записать показания приборов в табл. 2.2.

табл. 2.2

$E_1 = , E_3 = , R_1 = , R_3 = , R_4 = .$		
	Получено в эксперименте.	Получено по расчёту.
, А		
, В		

2.2 Экспериментальное подтверждение законов Кирхгофа и Метода контурных токов.

Поставить контакты переключателей схемы (рис. 2.1) в положение, указанное в табл.2.3. Замкнутой положение контактов обозначено X.

табл. 2.3

Положение контактов переключателей.									
П1		П2		П3		П4		П5	

К контакту 2 переключателя П2 подключить источник E_2 .

Установить величину источников E и сопротивлений R , указанных преподавателем.

Записать показания приборов в табл. 2.4.

табл. 2.4

$E_1 = , E_2 = , E_3 = , R_1 = , R_2 = , R_3 = , R_4 = , R_5 = .$				
Токи, А.	Получено в эксперименте.	Получено по расчёту.		
		Законы Кирхгофа.	Метод контурных токов.	
I_1			Контурные	

			токи, А.	
I_2			$I_{11} =$	
I_3			$I_{22} =$	

К контакту 2 переключателя П2 подключить источник тока I величина которого указана преподавателем.

Записать показание приборов в табл. 2.5.

табл. 2.5

$E_1 = , \quad E_2 = , \quad E_3 = , \quad R_1 = , \quad R_2 = , \quad R_3 = , \quad R_4 = ,$ $R_5 = .$				
Токи, А.	Получен о в эксперименте.	Получено по расчету.		
		Законы Кирхгофа.	Метод контурных токов.	
I_1			Конт урные токи, А.	
I_2			$I_{11} =$	
I_3			$I_{22} =$	

2.3 Экспериментальное подтверждение метода наложения.

2.3.1. К контакту 2 переключателя П2 (рис. 2.1) подключить источник тока I .

Установить величину источников E, I и сопротивлений R , указанных преподавателем.

Поставить контакты переключателей схемы (рис. 2.1) в положение, указанное в табл.2.6.

табл. 2.6

$E_1 = , \quad E_3 = , \quad I = , \quad R_1 = , \quad R_2 = , \quad R_3 = , \quad R_4 = ,$ $R_5 = .$						
Получено в эксперименте.					Пол учено по расчету.	
Положение контактов переключателей.						
П1		П2		П3		Ист очник E_1
1	2	1	2	1	2	
	x	x		x		
I_1, A						
I_2, A						
I_3, A						

Положение контактов переключателей.						Источник E_3
П1		П2		П3		
1	2	1	2	1	2	
x		x			x	
I_1, A						
I_2, A						
I_3, A						
Положение контактов переключателей.						Источники E_1, E_3, I
П1		П2		П3		
1	2	1	2	1	2	
x			x	x		
I_1, A						
I_2, A						
I_3, A						
Положение контактов переключателей.						Источники E_1, E_3, I
П1		П2		П3		
1	2	1	2	1	2	
	x		x		x	
I_1, A						
I_2, A						
I_3, A						

Положение контактов переключателей не указанных в табл. 2.6 такое же, как в табл.2.3.

Записать показание приборов в табл. 2.6.

К контакту 2 переключателя П2 (рис. 2.1) подключить источник напряжения E_2 , удалив источник тока I . Точки 1 и e соединить.

Установить величину источников E и сопротивлений R , указанных преподавателем.

Положение контактов переключателей, не указанных в табл. 2.7 такое же, как в табл.2.3.

Записать показания приборов в табл. 2.7.

табл. 2.7.

$E_1 = , E_2 = , E_3 = , R_1 = , R_2 = , R_3 = , R_4 = , R_5 = .$						
Получено в эксперименте.						Получено по расчету.
Положение контактов переключателей.						
П1		П2		П3		
1	2	1	2	1	2	

	x	x		x		
$I_{1,A}$						
$I_{2,A}$						
$I_{3,A}$						
Положение контактов переключателей.						Ист очник E_3
П1		П2		П3		
1	2	1	2	1	2	
x			x	x		
$I_{1,A}$						
$I_{2,A}$						
$I_{3,A}$						
Положение контактов переключателей.						Ист очник E_2
П1		П2		П3		
1	2	1	2	1	2	
x		x			x	
$I_{1,A}$						
$I_{2,A}$						
$I_{3,A}$						
Положение контактов переключателей.						Ист очник E_1, E_3, E_2
П1		П2		П3		
1	2	1	2	1	2	
	x		x		x	
$I_{1,A}$						
$I_{2,A}$						
$I_{3,A}$						

2.4 Экспериментальное подтверждение метода двух узлов.

Поставить контакты переключателей схемы (рис. 2.1) в положение, указанное в табл.2.8. Замкнутой положение контактов обозначено X.

табл. 2.8

Положение контактов переключателей.									
П1		П2		П3		П4		П5	

2.4.1 К контакту 2 переключателя П2 подключить источник ЭДС E_2 .

Установить величину источников E и сопротивлений R , указанных преподавателем.

Записать показания приборов в табл. 2.9.

табл. 2.9

$E_1 = , \quad E_2 = , \quad E_3 = , \quad R_1 = , \quad R_2 = , \quad R_3 = , \quad R_4 = ,$ $R_5 = .$
--

Получено в эксперименте.				Получено по расчету.			
, В	I_1, A	I_2, A	I_3, A	, В	I_1, A	I_2, A	I_3, A

2.4.2 К контакту 2 переключателя П2 подключить источник тока I .

Установить величину источников E , I и сопротивлений R , указанных преподавателем.

Записать показания приборов в табл. 2.10.

табл. 2.10

Получено в эксперименте.								Получено по расчету.			
В	U_{ab}	I_1, A	I_2, A	I_3, A	В	U_{ab}	I_1, A	I_2, A	I_3, A		

2.4 Экспериментальное подтверждение метода эквивалентного генератора.

Поставить контакты переключателей схемы (рис. 2.1) в положение, указанное в табл.2.11 и табл.2.12. Замкнутой положение контактов обозначено X. К контакту 2 переключателя П2 подключить источник ЭДС E_2 .

табл. 2.11

Положение контактов переключателей.					
П1		П2		П3	
1	2	1	2	1	2
	x		x		x

Установить величину источников E и сопротивлений R , указанных преподавателем.

Записать показания приборов в табл.2.12.

табл. 2.12

Получено в эксперименте.								Получено по расчету.	
Положение контактов переключателей.									
П4			П5						
1	2		1	2					

	х		х	
I_6, A				
Положение контактов переключателей.				Методы расчёта тока $I_{кз}$
П4		П5		
1	2	1	2	
х		х		
$I_{кз}, A$				
Положение контактов переключателей.				Методы расчёта напряжения U_{cdxx}
П4		П5		
1	2	1	2	
х			х	
U_{cdxx}, B				
$R_{вн} = U_{cdxx} / I_{кз} =$				$R_{вн} =$

3. Обработка результатов измерений.

3.1 Рассчитать токи, напряжения, сопротивления, определенные экспериментально в опытах пункта 2. (Расчётные формулы д.б. приведены в отчёте). Расчётные величины сравнить с соответствующими величинами, определёнными опытным путём.

3.2 Написать выражения и рассчитать баланс мощности для всех экспериментов пункта 2.

Контрольные вопросы и задания

1. Сформулируйте закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС. Чем он отличается от закона Ома для полной цепи?
2. Что представляет собой режим холостого хода и короткого замыкания?
3. Рассчитайте напряжение U_{ab} в схеме на рис. 2.1, используя ветви: $a-E_1-b$, $a-E_2-b$, $a-E_3-b$ (Переключатели П4 и П5 соответственно в положении 1 и 2)
4. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа. Чем отличается второй закон Кирхгофа от закона Ома для полной цепи?
5. Сколько уравнений составляется для цепи, содержащей источники напряжения и тока, по первому и второму законам Кирхгофа?
6. Как изменятся токи в схеме (рис. 3.1а) если:
 - уменьшить сопротивление R_2 ?
 - уменьшить сопротивление R_1 ?
 - уменьшить сопротивление R_3 ?

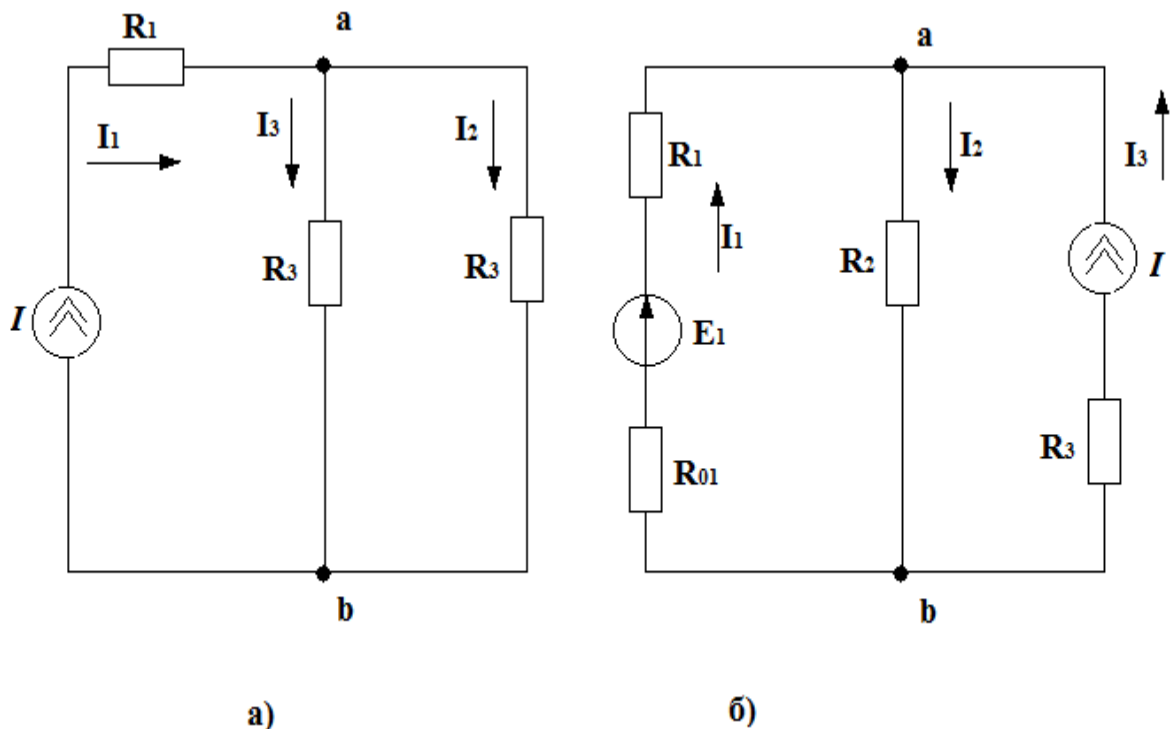


рис. 3.1. Электрическая схема с источником тока

7. Могут ли в цепи (рис. 3.1б) токи I_2 и I_3 быть равными 0? Если не могут, то почему?
8. Написать выражение баланса мощности для цепи постоянного тока? Записать выражение баланса мощности для цепи рис. 3.1а и рис. 3.1б

9. В чём заключается отличие метода контурных токов от метода расчёта с использованием законов Кирхгофа для аналогичных цепей?

10. Для каких схем может быть использован метод двух узлов? Охарактеризуйте основные этапы расчета токов в цепи с использованием метода двух узлов?

11. Охарактеризуйте основные этапы расчета токов ветвей методом наложения?

12. В каких случаях целесообразно применять метод эквивалентного генератора?

13. Как определить расчётным путём в схеме (рис. 1.8) по известным сопротивлениям и ЭДС: напряжение холостого хода; ток короткого замыкания; сопротивление $R_{вн}$.