

Теория электрических цепей

Лабораторная работа № 4

**РАЗВЕТВЛЁННАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО
ТОКА**

2011

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Теоретическое и экспериментальное исследование линейной разветвленной цепи постоянного тока.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И РАСЧЁТНЫЕ ФОРМУЛЫ

1. ФОРМИРОВАНИЕ РАСЧЁТНОЙ СХЕМЫ ЦЕПИ

Задача анализа разветвленной электрической цепи обычно сводится к нахождению токов ветвей и напряжений на различных участках цепи. Руководствуясь обобщенной схемой замещения цепи (рис. 4.1) и табл. 4.1 вариантов задания, необходимо вычертить в отчете расчётную схему цепи.

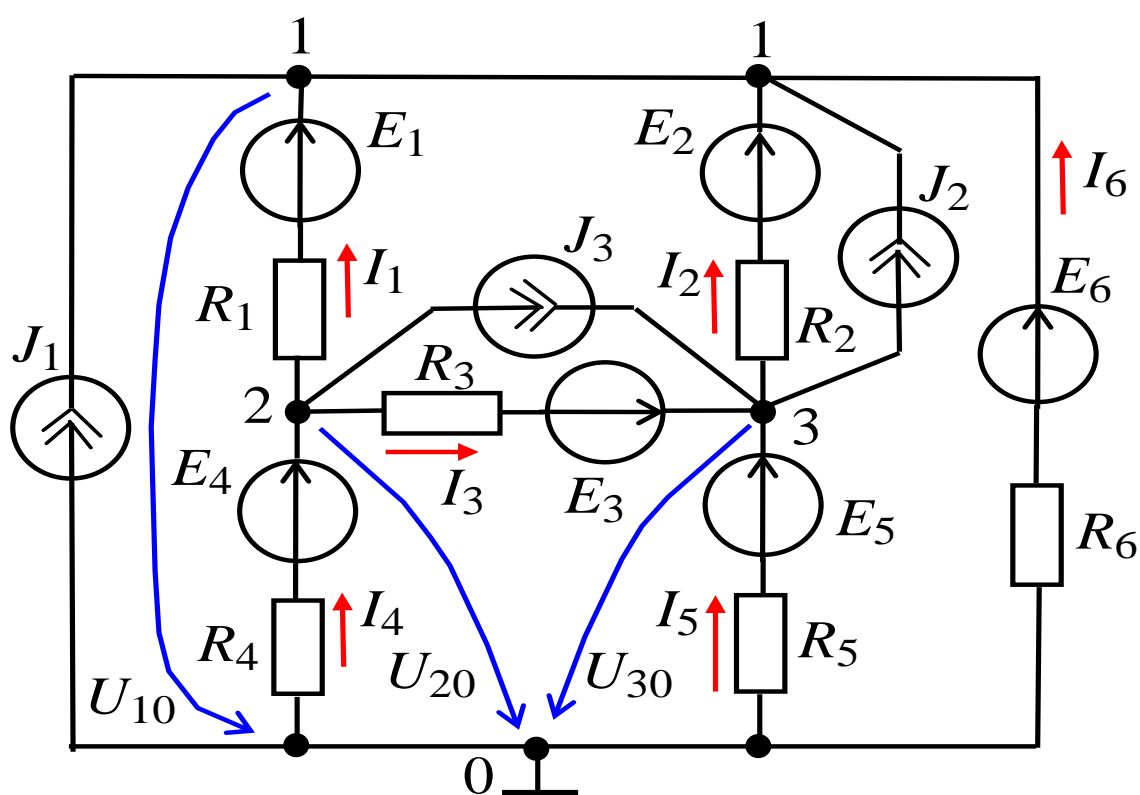


Рис. 4.1

При этом ветви схемы цепи с незадаанными источниками тока J_k необходимо разомкнуть (т. е. исключить), а участки цепи с незадаанными идеальными источниками напряжения E_k заменить проводниками, оставив в ветвях резисторы R_k . В преобразованной схеме должны остаться два источника напряжения (ИН) и один источник тока (ИТ). Если ЭДС E_k или ток J_k задан со знаком "минус", то направление их стрелок на схеме целесообразно изменить на противоположное и в исходных данных записать эти источники со знаком "плюс". Условные положительные направления токов в ветвях и узловых напряжений указаны на рис. 4.1.

2. РАСЧЁТ СХЕМЫ ЦЕПИ МЕТОДОМ УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Для расчёта сложных электрических цепей используют **метод узловых потенциалов** (МУП) или **метод контурных токов** (МКТ). Необходимое число уравнений для расчета цепи этими методами определяют по формулам:

$$N_{МУП} = V - 1; N_{МКТ} = B - (V - 1),$$

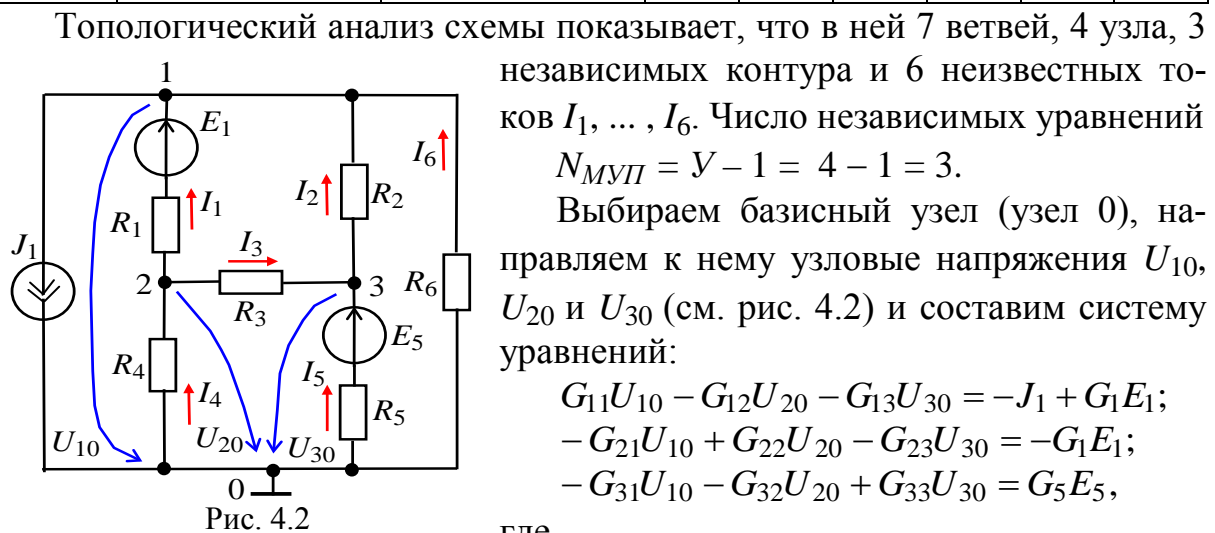
где B и V - число ветвей (без учёта ветвей с источниками тока) и узлов в схеме.

Выполним, для примера, расчет схемы цепи (рис. 4.2) (вариант $N = 36$, см. табл. 4.1) методом узловых напряжений. Исходные данные для расчета: $J_1 = 2$ А; $E_1 = 10$ В; $E_5 = 20$ В; $R_1 = 1$ Ом; $R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 3$ Ом; $R_4 = 4$ Ом; $R_5 = 5$ Ом; $R_6 = 6$ Ом. Направление тока J_1 изменено на противоположное, т. к. в табл. 4.1 (вариант 36) ток задан со знаком "минус" ($J_1 = -2$ А).

Т а б л и ц а 4.1

Вариант	Источники		Сопротивления резисторов, Ом					
	ИН с ЭДС E_k , В	ИТ с током J_k , А	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
1	$E_5 = 15; E_6 = -5$	$J_3 = 4$	7	2	1	3	9	8
2	$E_1 = -20; E_6 = 2$	$J_2 = -5$	9	9	7	1	2	3
3	$E_1 = 35; E_2 = -5$	$J_3 = -6$	1	6	3	9	5	1
4	$E_2 = 20; E_6 = 30$	$J_2 = 7$	3	4	9	7	8	2
5	$E_1 = 40; E_3 = 30$	$J_2 = 8$	6	2	6	6	1	3
6	$E_2 = 30; E_4 = 15$	$J_3 = 2$	9	1	3	4	5	3
7	$E_3 = 40; E_6 = -30$	$J_3 = -1$	3	3	7	3	8	2
8	$E_1 = -15; E_4 = 5$	$J_2 = 6$	8	2	8	3	2	2
9	$E_2 = -30; E_5 = 5$	$J_1 = -7$	3	9	8	3	5	2
10	$E_3 = -35; E_4 = 10$	$J_1 = 5$	4	2	7	4	2	1
11	$E_3 = 25; E_6 = -15$	$J_2 = 3$	5	2	1	3	9	8
12	$E_1 = -30; E_6 = 10$	$J_3 = -3$	9	7	7	1	2	3
13	$E_1 = 25; E_2 = -15$	$J_2 = 8$	1	6	2	9	5	1
14	$E_2 = 10; E_6 = 20$	$J_2 = 5$	3	4	9	5	8	2
15	$E_1 = 30; E_3 = 20$	$J_3 = 4$	6	2	6	6	4	3
16	$E_2 = 20; E_4 = 25$	$J_2 = 3$	9	1	3	4	5	1
17	$E_3 = 30; E_6 = -20$	$J_2 = -5$	3	3	7	3	5	2
18	$E_1 = -5; E_4 = 15$	$J_3 = -4$	8	2	8	6	2	2
19	$E_2 = -20; E_5 = 15$	$J_2 = -6$	3	9	2	3	5	2
20	$E_3 = -25; E_4 = 30$	$J_2 = 4$	4	6	7	4	2	1
21	$E_5 = 25; E_6 = -15$	$J_2 = 3$	5	2	1	3	9	8
22	$E_1 = -10; E_6 = 30$	$J_2 = -5$	9	4	7	1	2	3
23	$E_1 = 25; E_2 = -15$	$J_1 = -2$	1	6	7	9	5	1

24	$E_2 = 30; E_6 = 10$	$J_1 = 4$	3	4	9	5	8	2
25	$E_1 = 30; E_3 = 20$	$J_2 = 5$	6	2	6	6	4	3
26	$E_2 = 40; E_4 = 5$	$J_3 = 6$	9	1	3	4	5	2
27	$E_3 = 30; E_6 = -20$	$J_3 = -7$	7	3	7	3	8	2
28	$E_1 = -5; E_4 = 10$	$J_2 = 1$	8	4	8	3	2	2
29	$E_2 = -20; E_5 = 15$	$J_1 = -4$	3	9	3	3	5	2
30	$E_5 = 5; E_6 = -15$	$J_3 = -5$	7	2	1	4	9	8
31	$E_1 = 35; E_2 = -5$	$J_3 = -6$	9	4	7	4	2	3
32	$E_3 = 30; E_6 = -20$	$J_2 = -5$	8	2	8	7	2	3
33	$E_1 = 30; E_3 = 20$	$J_3 = 4$	3	4	6	4	7	2
34	$E_1 = 25; E_2 = -15$	$J_1 = 2$	2	6	2	8	5	1
35	$E_1 = -10; E_6 = 30$	$J_2 = -5$	6	4	9	5	6	2
36	$E_1 = 10; E_5 = 20$	$J_1 = -2$	1	2	3	4	5	6



$$G_{11} = G_1 + G_2 + G_6 = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_6 = 1/1 + 1/2 + 1/6 = 1,667 \text{ См};$$

$$G_{22} = G_1 + G_3 + G_4 = 1/R_1 + 1/R_3 + 1/R_4 = 1/1 + 1/3 + 1/4 = 1,583 \text{ См};$$

$$G_{33} = G_2 + G_3 + G_5 = 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_5 = 1/2 + 1/3 + 1/5 = 1,033 \text{ См}$$

– узловые проводимости;

$$G_{12} = G_{21} = G_1 = 1 \text{ См}; \quad G_{23} = G_{32} = G_3 = 0,333 \text{ См}; \quad G_{13} = G_{31} = G_2 = 1/2 = 0,5 \text{ См} \text{ – межузловые проводимости};$$

$$-J_1 + G_1E_1 = -2 + 1 \cdot 10 = 8 \text{ А};$$

$$-G_1E_1 = -1 \cdot 10 = -10 \text{ А};$$

$$G_5E_5 = 1/5 \cdot 20 = 4 \text{ А – узловые токи.}$$

Подставив числовые значения в систему уравнений, имеем:

$$\begin{cases} 1,667U_{10} - 1,0U_{20} - 0,5U_{30} = 8; \\ -1,0U_{10} + 1,583U_{20} - 0,333U_{30} = -10; \\ -0,5U_{10} - 0,333U_{20} + 1,033U_{30} = 4. \end{cases}$$

Решив систему, записываем узловые напряжения в табл. 4.2.

Токи ветвей определим по обобщенному закону Ома (с учетом выбранных условно положительных направлений токов в ветвях (см. рис. 4.2)):

$$I_1 = (E_1 - U_{12})/R_1 = (E_1 - (U_{10} - U_{20}))/R_1 = (10 - (6,028 + 1,16))/1 = 2,812 \text{ A};$$

$$I_2 = U_{31}/R_2 = (U_{30} - U_{10})/R_2 = (6,416 - 6,028)/2 = 0,194 \text{ A};$$

$$I_3 = U_{23}/R_3 = (U_{20} - U_{30})/R_3 = (-1,16 - 6,416)/3 = -2,525 \text{ A};$$

$$I_4 = -U_{20}/R_4 = 1,16/4 = 0,29 \text{ A};$$

$$I_5 = (E_5 - U_{30})/R_5 = (20 - 6,416)/5 = 2,717 \text{ A};$$

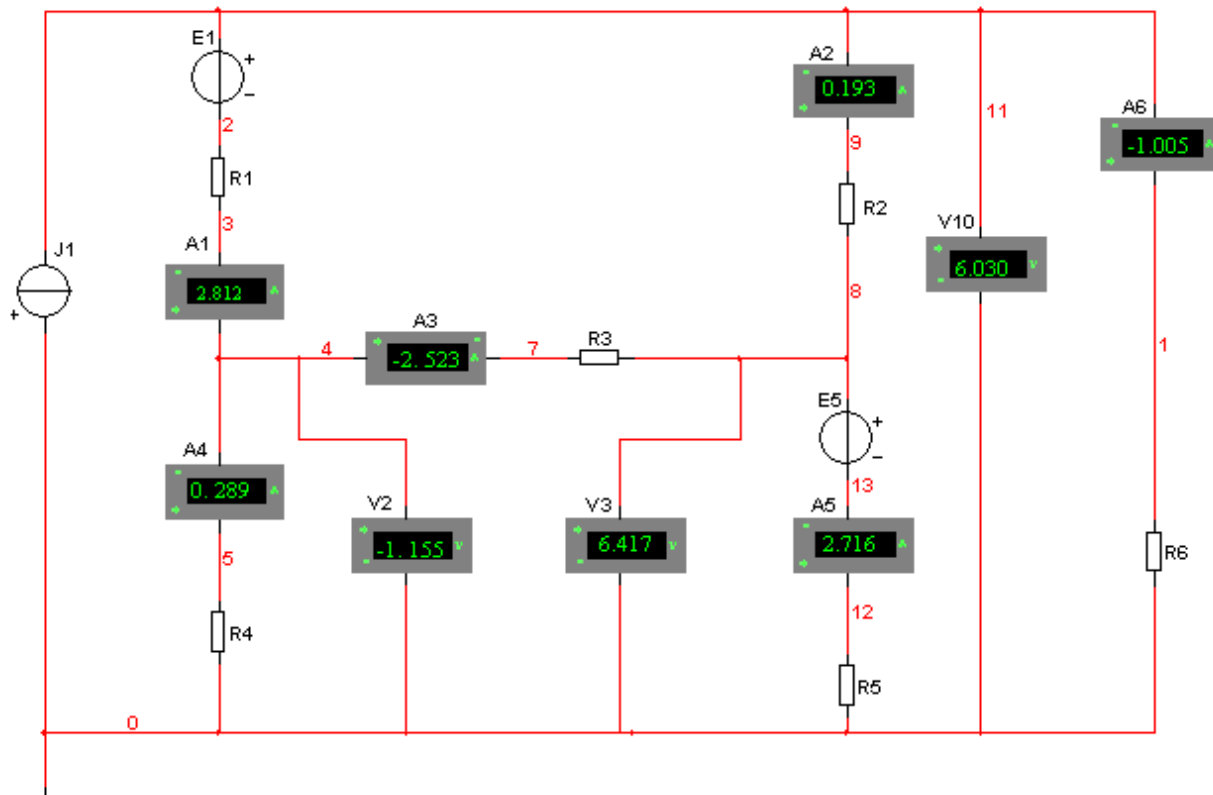
$$I_6 = -U_{10}/R_6 = -6,028/6 = -1,005 \text{ A}.$$

Вычисленные значения токов заносим в табл. 4.2.

Моделируем схему цепи варианта 36 на рабочем поле программы MS11 (рис. 4.4). Запускаем программу на исполнение и заносим показания приборов в табл. 4.2. Убеждаемся, что расчетные и экспериментальные данные практически совпадают.

Т а б л и ц а 4.2

	Узловые напряжения			Токи ветвей схемы					
	$U_{10}, \text{ В}$	$U_{20}, \text{ В}$	$U_{30}, \text{ В}$	$I_1, \text{ А}$	$I_2, \text{ А}$	$I_3, \text{ А}$	$I_4, \text{ А}$	$I_5, \text{ А}$	$I_6, \text{ А}$
Рассчитано	6,028	-1,16	6,416	2,812	0,194	-2,525	0,29	2,717	-1,005
Измерено	6,030	-1,155	6,417	2,812	0,193	-2,523	0,289	2,716	-1,005



УЧЕБНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Задание 1. Согласно варианту задания **вычертить** расчётную схему цепи и **рассчитать** цепь по МУП. Результаты расчёта **занести** в табл. 4.3.

Т а б л и ц а 4.3

	Узловые напряжения			Токи ветвей схемы					
	$U_{10}, \text{В}$	$U_{20}, \text{В}$	$U_{30}, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$I_3, \text{А}$	$I_4, \text{А}$	$I_5, \text{А}$	$I_6, \text{А}$
Рассчитано									
Измерено									

Задание 2. Собрать на рабочем поле среды MS11 на основе *обобщённой схемы цепи постоянного тока* (рис. 4.5) свою схему согласно варианту (см. табл. 4.1), а именно:

– **удалить** из схемы источники тока J_k , не указанные в табл. 4.1 (два раза **щёлкать** мышью на соответствующих изображениях источников тока, а затем в диалоговых окнах на закладках **Delete**, или поочерёдно **выделять** их в схеме и **нажимать** на клавишу **Del** клавиатуры);

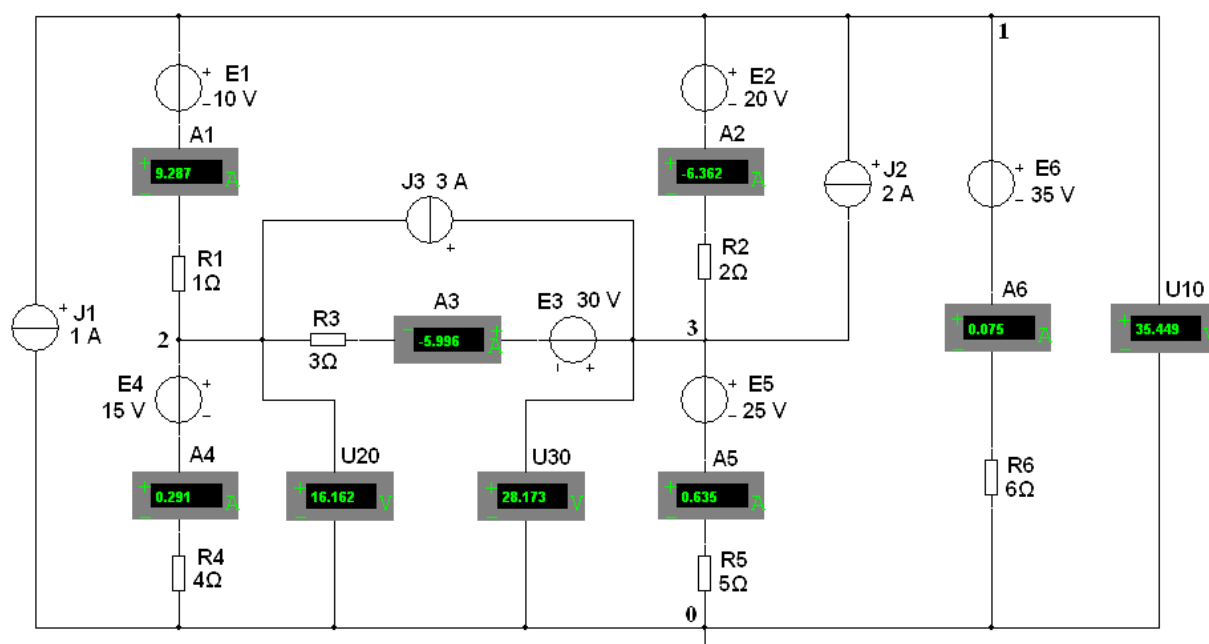
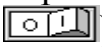


Рис. 4.5

– **удалить** из схемы не указанные в табл. 4.1 источники напряжения E_k , а затем **"соединить"** проводниками выводы соответствующих амперметров или резисторов ветвей с узлами схемы;

– согласно варианту задания **установить** в диалоговых окнах параметры и режимы работы компонентов E_k , J_k и R_k ;

– **задать** режим работы **ДС** амперметров и вольтметров, внутренние сопротивления амперметров $R_A = 1 \text{ нОм}$ и вольтметров $R_V = 10 \text{ МОм}$;

– **запустить** программу моделирования схемы цепи (щёлкнув мышью на цифре 1 кнопки ) и **записать** показания приборов в табл. 4.3;

– **скопировать** скорректированную схему на страницу отчёта.

Задание 3. Проверить выполнение первого закона Кирхгофа для всех узлов схемы и второго закона Кирхгофа для двух произвольно выбранных контуров схемы (исключая контур с источником тока).

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Наименование и цель работы.
2. Электрические расчётная и смоделированная на рабочем поле программной среды MS11 схемы цепи.
3. Расчётные формулы для определения токов ветвей цепи методом узловых напряжений.
4. Таблица с расчётными и экспериментальными данными.
5. Выводы по работе.

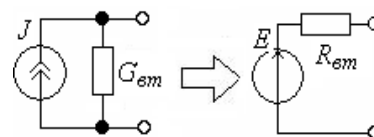
ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ 4

1. Укажите **формулу** расчёта числа независимых уравнений схемы цепи по первому закону Кирхгофа (B – число ветвей (без учёта ветвей с источниками тока); Y – число узлов схемы).

- ☐ $N = B - (Y - 1)$
☐ $N = B$
☐ $N = Y - 1$
☐ $N = Y$
☐ $N = Y + 1$

2. Укажите, можно ли (Да/Нет) определить **параметры** E и $R_{\text{см}}$ эквивалентного источника напряжения по формулам: $R_{\text{см}} = 1/G_{\text{см}}$; $E = R_{\text{см}}J$, если известны параметры источника тока J и $G_{\text{см}}$?

- ☐ Да
 ☐ Нет

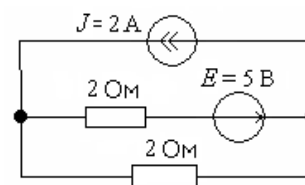


3. Укажите выражение для определения **числа независимых уравнений**, описывающих сложную цепь по методу контурных токов (B – число ветвей цепи (без учёта ветвей с источниками тока); Y – число узлов схемы цепи).

- ☐ $N = B - (Y - 1)$
☐ $N = B$
☐ $N = Y - 1$
☐ $N = Y - 2$

4. При определении числа уравнений для расчёта цепи методом контурных токов не учитывают контур с источником тока J (см. рис. справа), т. е. для этой схемы достаточно записать одно уравнение МКТ. Укажите, чему равна **контурная ЭДС**?

- ☐ 1 В
 ☐ 3 В
 ☐ 5 В
 ☐ 9 В



5. Укажите, можно ли составить **систему уравнений** (без предварительного преобразования схемы) методом узловых напряжений для расчёта цепи, если несколько ветвей схемы содержат только идеальные источники напряжения, не соединённые с заземлённым узлом?

- ☐ Да
 ☐ Нет

ЛИТЕРАТУРА

1. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. М., Энергия, 1975 г. – 752 с.
2. Улахович Д.А. Основы теории линейных электрических цепей. –СПб.: БХВ – Петербург. 2009. – 816 с.
3. Міліх В.І., Шавьолкін О.О. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: Підручник. За ред. В.І.Міліх. 2-е вид. – К.: Каравелла. 2008. – 688 с.
4. Татур Т.А. Основы теории электрических цепей (Справочное пособие): Учебное пособие. – М., «Высшая школа», 1980 г. – 271 с.
5. Гаврилов Л.П., Соснин Д.А. Расчет и моделирование линейных электрических цепей с применением ПК. Учебное пособие для студентов машиностроительных вузов. – М.: СОЛОН – Пресс, 2004. – 448 с.
6. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MathLab. Издание 5-е. – М.: СОЛОН – Пресс, 2004. – 800 с.
7. Хернтер Марк Е. MultiSim 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. (Пер. с англ.) /Пер. с англ. Осипов А.И. – М.: Издательский дом ДМК – пресс, 2006. – 488 с.
8. Марченко А.Л., Освальд С.В. лабораторный практикум по электротехнике и электронике в среде MULTISIM. Учебное пособие для вузов. – М.: ДМК Пресс, 2010, 448 с.