

## Расчетное задание № 1

### Анализ резистивных цепей постоянного тока

Для схемы, соответствующей номеру варианта, выполнить:

1. Записать уравнения по законам Кирхгофа. Решив полученную систему уравнений, определить токи и напряжения ветвей.
2. Составить узловые уравнения цепи в матричной форме. Решив составленные уравнения, рассчитать токи во всех ветвях исходной цепи.
3. Составить расширенные узловые уравнения.
4. Результаты расчетов свести в таблицу.
5. Рассчитать ток в ветви с резистором  $R_k$  методом эквивалентного генератора.
6. Определить, при каком сопротивлении резистора  $R_{k\text{ опт}}$  в нем выделяется максимальная мощность.
7. Построить графики зависимостей тока, напряжения и мощности, выделяемой в резисторе  $R_k$  при изменении сопротивления от  $0.1R_{k\text{ опт}}$  до  $10R_{k\text{ опт}}$ .

**Примечание:** коэффициент усиления управляемого источника  $K$  принять равным последней цифре номера зачетной книжки. Цифре 0 соответствует  $K = 10$ . Параметр источника тока, управляемого током (ИТУН)  $S = 0.1 \cdot N$  ( $N$  – последняя цифра номера зачетной книжки).

*Таблица 1*

Вар.	Рис.	$R1$	$R2$	$R3$	$R4$	$R5$	$R6$	$Rk$	$E1$	$E2$	$E3$	$J1$	$J2$	$J3$
		Ом							В			А		
1	1.2	8	10	6	15	21	26	4	—	—	14	0,5	—	0,8
2	1.15	19,5	7,5	13,5	10,5	15	6	6	—	9	45	—	—	0,8
3	1.1	19,5	7,5	3	12	16,5	22,5	1	—	12	30	—	0,8	—
4	1.11	30	120	150	52,5	225	60	6	—	90	375	0.5	—	—
5	1.17	15	27	7,5	15	12	9	1	—	16,5	52,5	—	—	0,5
6	1.19	8	10	15	6	22,5	30	6	15	—	45	1	—	—
7	1.3	6	19,5	13,5	15	7,5	9	1	—	16,2	15	—	0,4	0
8	1.7	195	60	90	120	165	67,5	3	10,2	—	—	0,04	0	—
9	1.2	9	7,5	12	21	10,5	12	5	—	—	33	2	—	0
10	1.8	82,5	120	150	60	105	180	6	—	25,5	22,5	—	0,1	—
11	1.1	165	90	125	225	120	75	1	—	21	21	—	0.1	—
12	1.14	45	120	100	80	150	110	4	—	10	9	—	—	0,5
13	1.18	45	60	33	15	21	75	4	—	—	22,5	—	0,3	0,4
14	1.12	22,5	18	15	1,35	12	10,5	3	—	—	—	0,2	0,3	—
15	1.14	13,5	30	24	60	45	33	1	—	15	27	—	—	1
16	1.6	7,5	15	18	10,5	12	22,5	4	—	—	37,5	—	0,5	—

Продолжение Таблицы 1

17	1.2	12	15	9	20	33	39	1	—	—	30	1	—	0,5
18	1.15	65	25	45	35	50	20	5	—	4	15	—	—	0,4
19	1.1	6,5	2,5	1	4	5,5	7,5	4	—	5	10	—	0,4	—
20	1.16	2	4	3	5	6,5	5	1	—	—	7,5	—	1	0,4
21	1.11	10	40	50	17,5	75	20	5	—	34	125	0,4	—	—
22	1.2	4	5	12	7,5	10,5	13	1	—	—	10	0,5	—	0,5
23	1.15	26	10	26,25	14	20	8	6	—	20	24	—	—	2
24	1.1	26	10	12	16	22	30	4	—	24	32	—	2	—
25	1.17	5	9	2,5	5	4	3	6	—	8,2	17,5	—	—	0,2
26	1.3	2	6,5	4,5	5	2,5	3	5	—	6,7	5	—	0,2	—
27	1.20	15	10,5	20	35	12,5	20	5	—	—	55	—	2	0,5
28	1.7	65	20	30	40	55	22,5	5	4,7	—	—	0,02	0,2	—
29	1.20	3	2,5	105	7	3,5	4	1	—	—	11	—	1	0,15
30	1.8	27,5	40	12	20	35	60	1	—	6,5	7,5	—	0,15	—
31	1.10	55	30	60	75	40	25	3	8,1	7	—	0,08	—	—
32	1.9	3,5	6	3	4,5	7,5	4	1	—	7	5	—	0,5	—
33	1.18	15	20	30	5	7	25	1	—	7,5	—	—	0,2	0,5
34	1.4	18	52,5	33	9	15	22,5	1	—	9	—	—	0,4	0,3
35	1.13	6	10,5	15	18	30	8,25	1	—	—	30	—	2	0,4
36	1.5	6	16,5	7,5	18	10,5	12	4	25,5	15	—	2	—	—
37	1.12	7,5	6	5	4,5	4	3,5	5	—	—	—	0,4	0,2	—
38	1.6	2,5	5	2	3,5	4	7,5	1	—	—	12,5	—	0,3	—
39	1.19	2,5	3,5	1	2	7,5	10	4	7	—	15	0,2	—	—
40	1.4	6	17,5	2	3	5	7,5	6	—	6,5	—	—	0,2	0,4
41	1.13	2	3,5	5	6	10	2,75	6	—	—	10	—	1	0,4
42	1.5	2	7,5	0	6	3,5	4	3	10,5	5	—	1	—	—
43	1.16	8	16	10	20	26	20	4	—	—	24	—	2	0,5
44	1.11	40	160	120	70	300	80	5	—	200	200	0,8	—	—
45	1.17	20	36	8	20	16	12	4	—	40	40	—	—	3
46	1.3	8	26	17	20	10	12	6	—	32	11	—	0,5	—
47	1.7	260	80	200	160	220	90	6	24	—	—	0,5	0,2	—
48	1.20	12	10	420	28	14	16	4	—	—	12	—	0,5	2
49	1.8	110	160	60	80	140	240	5	—	50	22	—	0,04	—
50	1.14	18	40	32	80	60	44	5	—	60	28	—	—	0,25
51	1.10	220	120	150	300	160	100	4	50	22	—	0,05	—	—
52	1.9	14	24	11	18	30	16	1	—	40	12	—	1	—
53	1.18	60	80	40	20	28	100	4	—	46	—	—	1	0,5
54	1.12	30	24	180	18	16	14	4	—	—	—	0,5	0,5	—
55	1.4	24	70	5	12	20	30	1	—	40	—	—	0,5	0,1
56	1.13	8	14	20	24	40	11	4	—	—	10	—	0,5	1,5
57	1.5	8	22	10	24	14	16	4	50	16,6	—	0,2	—	—
58	1.20	15	12,5	20	35	17,5	20	5	—	—	55	—	2	0,5

Окончание Таблицы 1

59	1.6	10	20	24	14	16	30	1	—	—	38	—	0,5	—
60	1.19	10	14	20	8	30	40	6	30	—	20	2	—	—
61	1.15	32,5	12,5	22,5	17,5	25	10	4	—	20	75	—	—	0,4
62	1.1	32,5	12,5	5	20	27,5	37,5	1	—	25	50	—	0,4	—
63	1.16	10	20	15	25	32,5	25	6	—	—	37,5	—	2	0,4
64	1.19	12,5	17,5	25	10	37,5	50	2	30	—	75	0,6	—	—
65	1.11	50	200	250	87	375	100	4	—	150	625	—	—	0,5
66	1.17	25	45	12,5	25	20	15	5	—	32	87,5	—	—	0,4
67	1.3	10	32,5	22,5	25	12,5	15	6	—	27	25	—	0,4	—
68	1.7	325	100	150	200	275	112	4	17	—	—	0,04	0,4	—
69	1.2	16	20	12	30	42	52	1	—	—	34	2	—	0,5
70	1.10	275	150	112	375	200	125	3	24	35	—	0,14	—	—
71	1.9	17,5	30	10	22,5	37,5	20	1	—	26	25	—	0,8	—
72	1.18	75	100	55	25	35	125	6	—	32,5	—	—	0,25	0,8
73	1.12	37,5	30	25	22,5	20	17,5	1	—	—	—	0,2	0,25	—
74	1.4	30	87,5	55	15	25	37,5	1	—	15	—	—	0,4	0,8
75	1.13	10	17,5	25	30	50	13,75	1	—	—	50	—	2	0,25
76	1.5	10	27,5	12,5	30	17,5	20	6	32,5	25	—	3	—	—
77	1.14	22,5	50	40	100	75	55	4	—	35	45	—	—	0,8
78	1.6	12,5	25	30	17,5	20	37,5	4	—	—	62,5	—	0,1	—
79	1.19	12,5	17,5	25	10	37,5	50	2	30	—	75	0,6	—	—
80	1.2	20	25	15	37,5	52,5	65	4	—	—	50	0,6	—	0,6
81	1.15	13	5	9	7	10	4	1	—	10	21	—	—	1
82	1.1	13	5	2	8	11	15	4	—	12	16	—	2	—
83	1.16	4	8	6	10	13	10	1	—	—	9	—	0,6	1
84	1.11	20	80	100	35	150	40	5	—	100	150	0,8	—	—
85	1.17	10	18	5	10	8	6	6	—	20	30	—	—	1
86	1.3	4	13	9	10	5	6	5	—	16	8,2	—	0,2	—
87	1.7	130	40	60	80	110	45	3	12	—	—	0,2	0,3	—
88	1.20	6	5	8	14	7	8	4	—	—	14	—	0,6	1
89	1.8	55	80	100	40	70	120	1	—	25	10	—	0,05	—
90	1.10	110	60	45	150	80	50	5	25	8	—	0,1	—	—
91	1.9	7	12	4	9	15	8	5	—	20	8	—	0,5	—
92	1.18	30	40	22	10	14	50	5	—	23	—	—	0,6	0,25
93	1.12	15	12	10	9	8	7	5	—	—	—	0,2	0,5	—
94	1.4	12	35	22	6	10	15	6	—	20	—	—	0,5	0,2
95	1.13	4	7	10	12	20	5,5	5	—	—	10	—	0,25	1
96	1.5	4	11	5	12	7	8	6	25	4,5	—	0,5	—	—
97	1.14	9	20	16	40	30	22	5	—	30	10	—	—	0,5
98	1.6	5	10	12	7	8	15	1	—	15	13	—	0	1
99	1.19	5	7	10	4	15	20	2	—	—	20	—	1	—
100	1.16	6	12	9	15	19,5	15	1	—	—	22,5	—	2	0,5

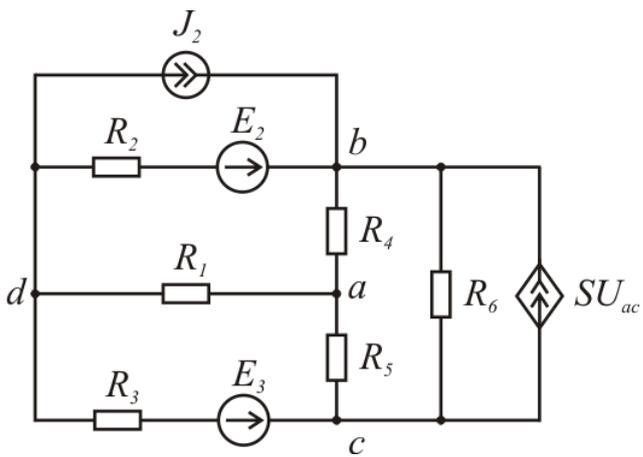


Рис. 1.1

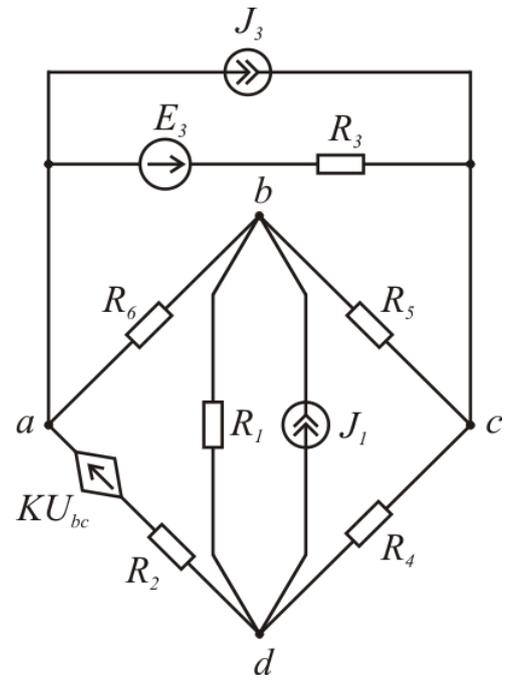


Рис. 1.2

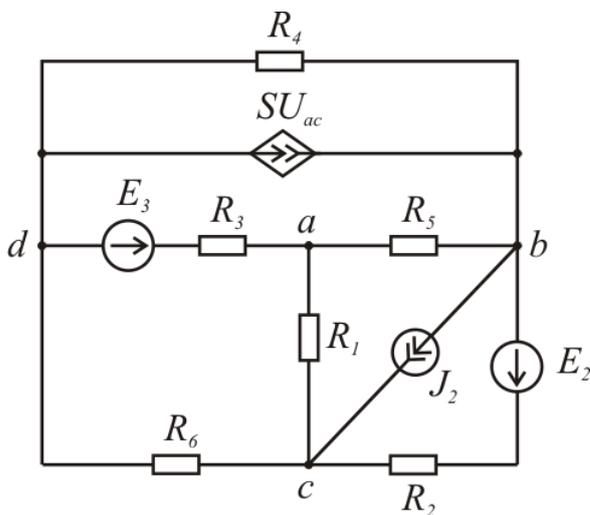


Рис. 1.3

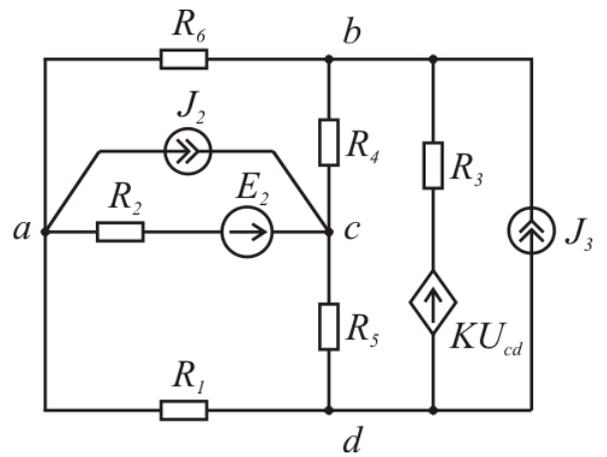


Рис. 1.4

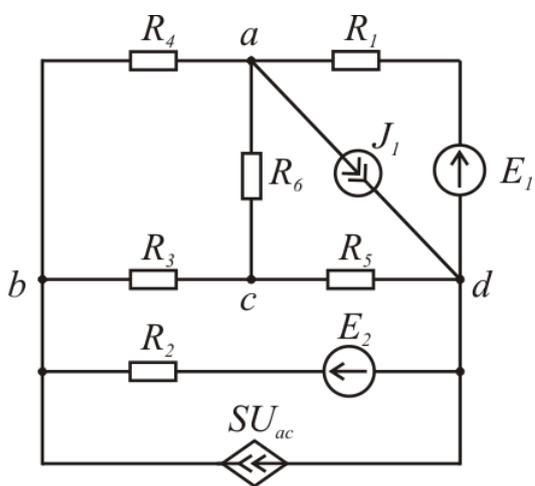


Рис. 1.5

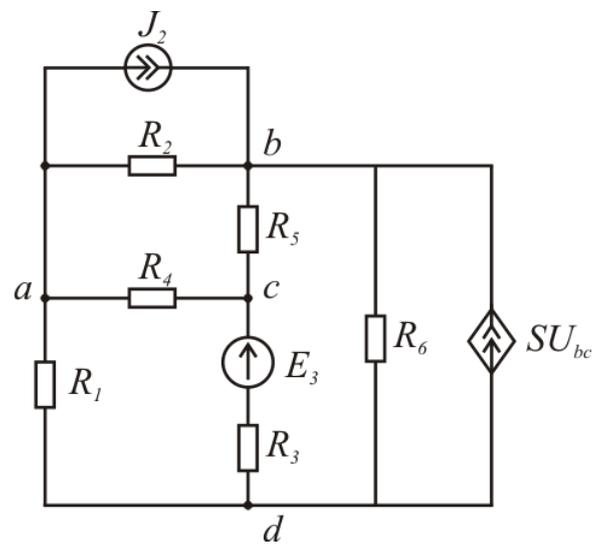


Рис. 1.6

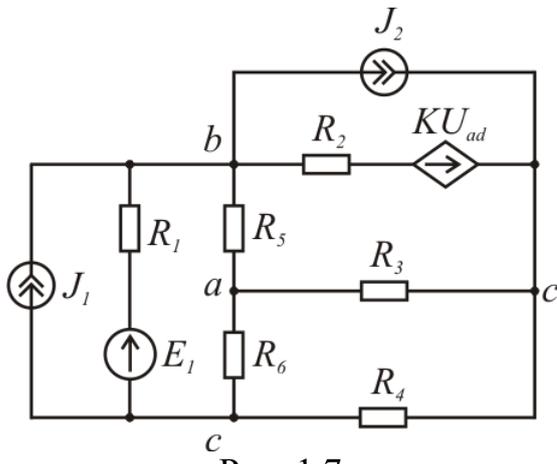


Рис. 1.7

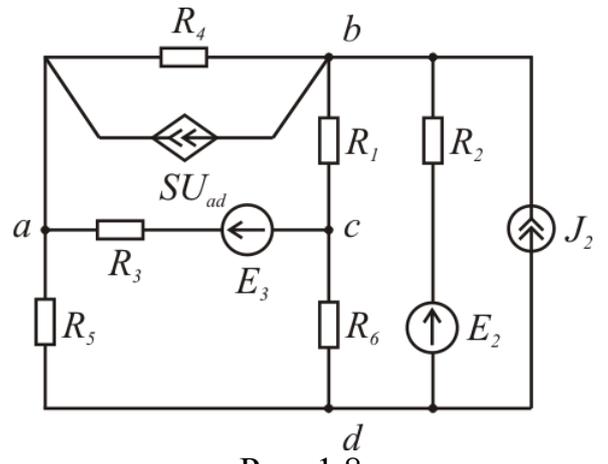


Рис. 1.8

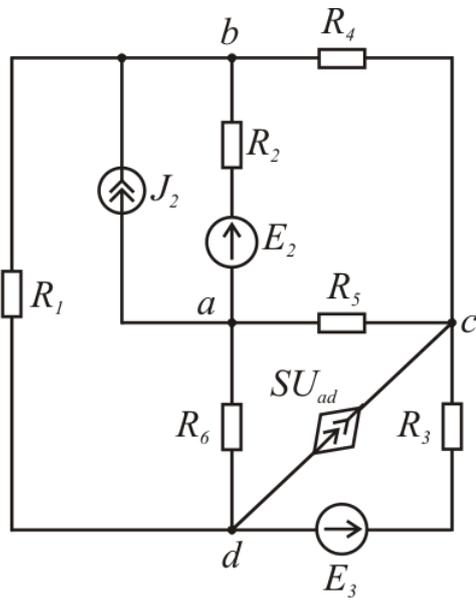


Рис. 1.9

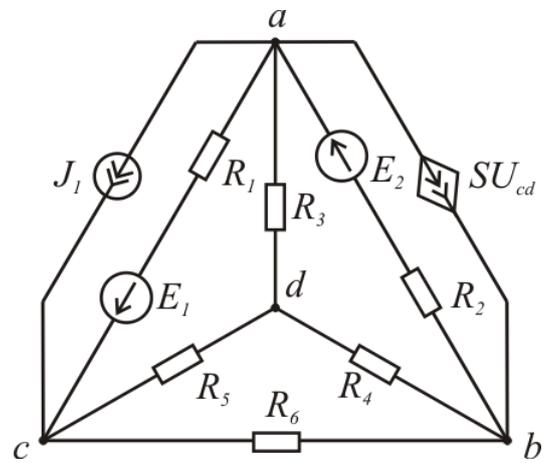


Рис. 1.10

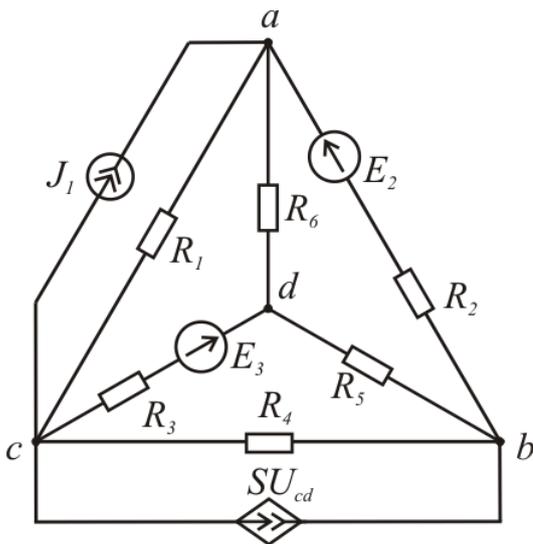


Рис. 1.11

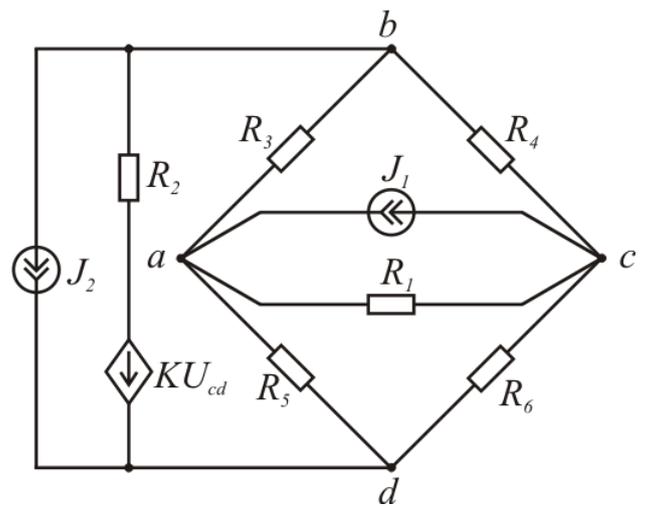


Рис. 1.12

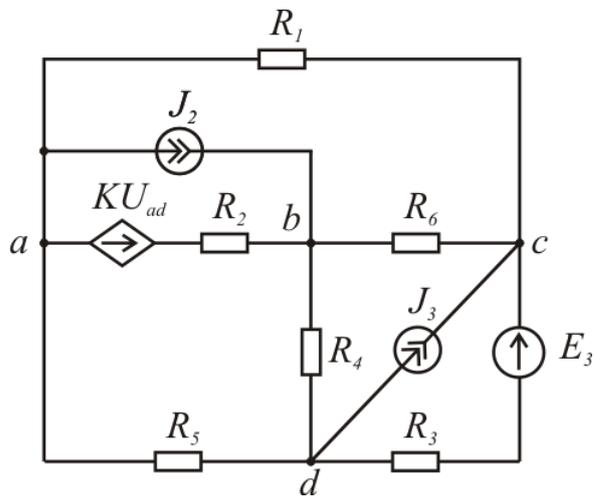


Рис. 1.13

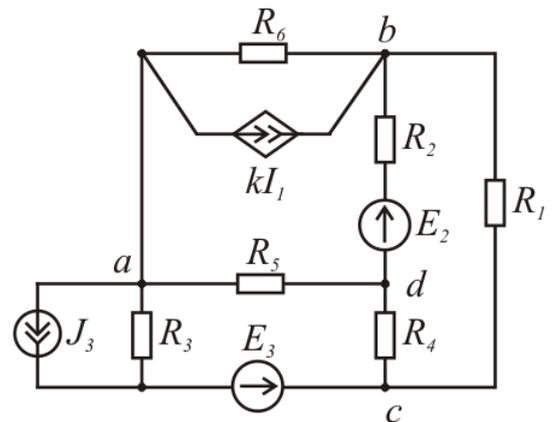


Рис. 1.14

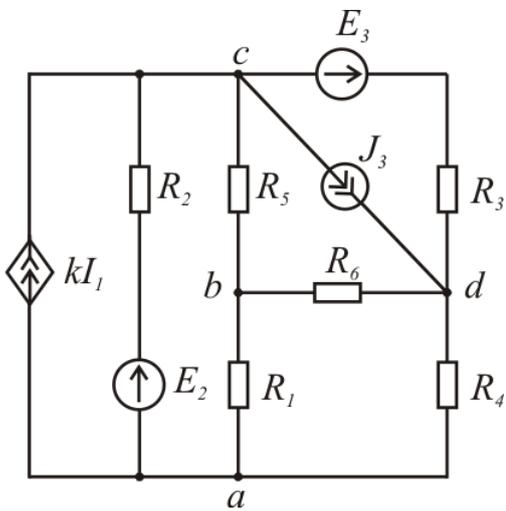


Рис. 1.15

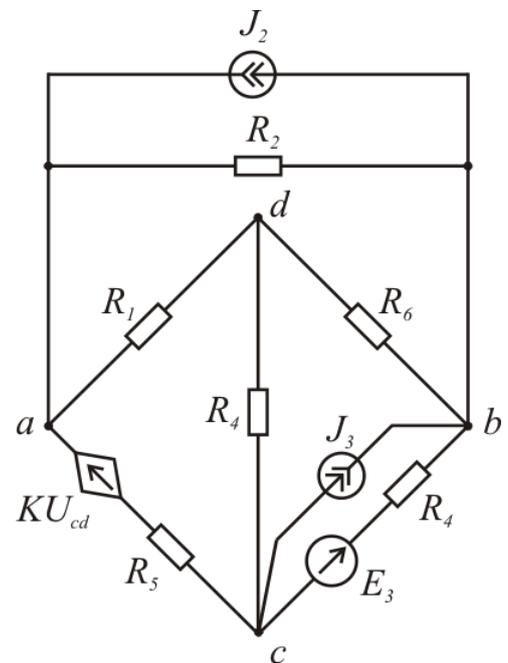


Рис. 1.16

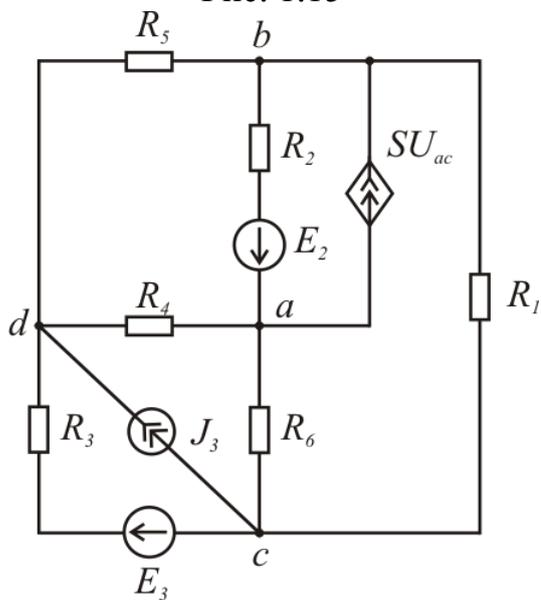


Рис. 1.17

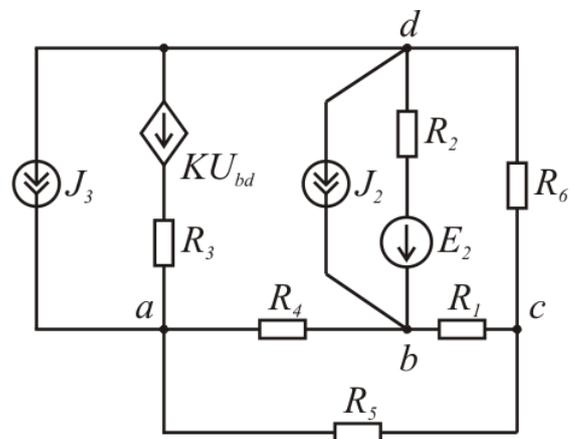


Рис. 1.18

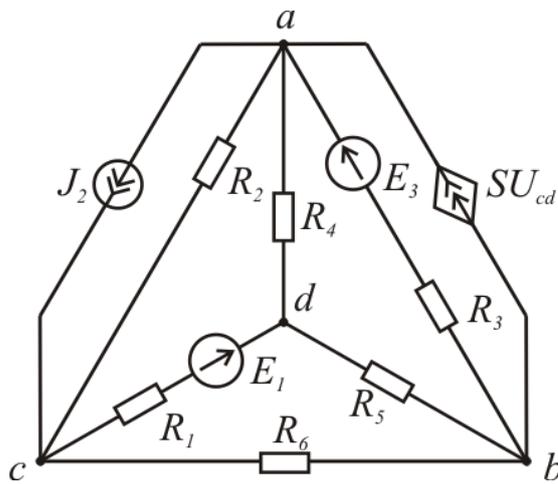


Рис. 1.19

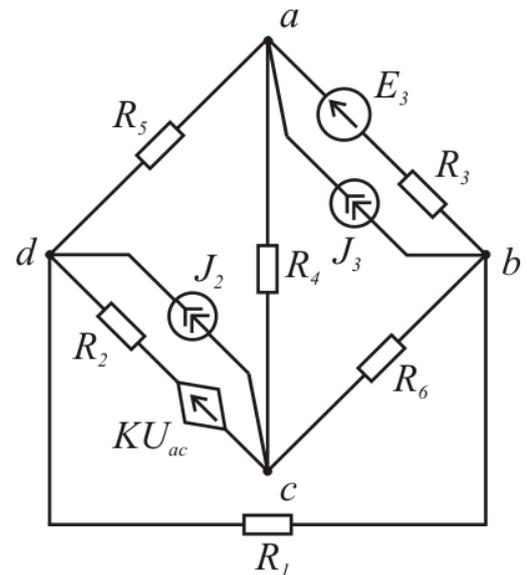


Рис. 1.20

### Рекомендации по выполнению расчетного задания

1. Последовательное соединение резистора и источника напряжения следует рассматривать как одну ветвь.
2. Схемы для всех вариантов имеют примерно одинаковую сложность. Для всех схем достаточно составить три уравнения по первому закону Кирхгофа и три – по второму.
3. п. 3 расчетного задания (составление расширенных узловых уравнений) студентам 3Ф выполнять не нужно.
4. При составлении уравнений по методу узловых напряжений источники напряжения следует преобразовать в эквивалентные источники тока.
5. При выполнении п. 5 (расчет методом эквивалентного генератора) следует помнить, что в цепи с управляемыми источниками входное сопротивление можно найти только как отношение напряжения холостого хода к току короткого замыкания. Напряжение холостого хода можно найти из системы узловых уравнений, полагая проводимость первого резистора равной нулю:  $G_1 = 0$ . Ток короткого замыкания легко найти, решив систему уравнений по законам Кирхгофа (п. 1 расчетного задания). В этой системе следует принять  $R_1 = 0$ . В этом случае ток короткого замыкания  $I_{КЗ} = I_1$ .

## Пример выполнения п. 1 и 2 расчетного задания № 1

1. Записать систему уравнений по законам Кирхгофа для цепи, показанной на рис. 1.

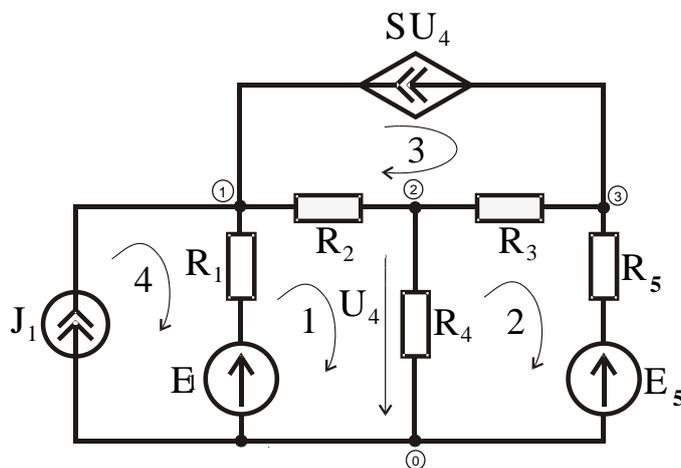


Рис. 1

1.1. Произвольно выбираем направление токов в ветвях исходной цепи.

Запишем уравнения по первому закону Кирхгофа для узлов 1, 2, 3.

Токи, направленные от узла, записываем со знаком «+». Токи, направленные к узлу, записываем со знаком «-».

$$\text{Для узла 1: } I_1 + I_2 - SR_4 I_4 = J_1$$

$$\text{Для узла 2: } -I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

$$\text{Для узла 3: } -I_3 + SR_4 I_4 + I_5 = 0.$$

Учитываем, что  $U_4 = R_4 I_4$  (напряжение на четвёртом резисторе определяем по закону Ома:  $U = IR$ ).

В качестве контуров удобно выбирать внутренние ячейки. Направление обхода контуров выберем совпадающим с направлением часовой стрелки.

Уравнения по второму закону Кирхгофа:

$$\text{Контур 1: } -I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_4 R_4 = E_1$$

$$\text{Контур 2: } I_3 R_3 - I_4 R_4 + I_5 R_5 = -E_5$$

Таким образом, получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned}
 I_1 + I_2 - SR_4 I_4 &= J_1 \\
 -I_2 + I_3 + I_4 &= 0 \\
 -I_3 + SR_4 I_4 + I_5 &= 0. \\
 -I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_4 R_4 &= E_1 \\
 I_3 R_3 - I_4 R_4 + I_5 R_5 &= -E_5
 \end{aligned}$$

В матричной форме:

$$\begin{bmatrix}
 1 & 1 & 0 & -SR_4 & 0 \\
 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & -1 & SR_4 & 1 \\
 -R_1 & R_2 & 0 & R_4 & 0 \\
 0 & 0 & R_3 & -R_4 & R_5
 \end{bmatrix}
 * \begin{bmatrix}
 I_1 \\
 I_2 \\
 I_3 \\
 I_4 \\
 I_5
 \end{bmatrix}
 = \begin{bmatrix}
 J_1 \\
 0 \\
 0 \\
 E_1 \\
 -E_5
 \end{bmatrix}.$$

Для решения уравнений необходимо использовать математические пакеты (MathCAD или MatLab). Решая систему уравнений, получим вектор токов ветвей. Напряжения ветвей найдем с помощью закона Ома:  $U_i = I_i R_i$ .

2. Записать систему уравнений по методу узловых напряжений для схемы, показанной на рис. 1.

Решение. Преобразуем цепь на рис. 1 к виду, удобному для анализа методом узловых напряжений. Последовательную ветвь источник напряжения – резистор преобразуем в параллельную ветвь с источником тока (рис. 2). Источник тока, управляемый напряжением, не требует отдельного преобразования.

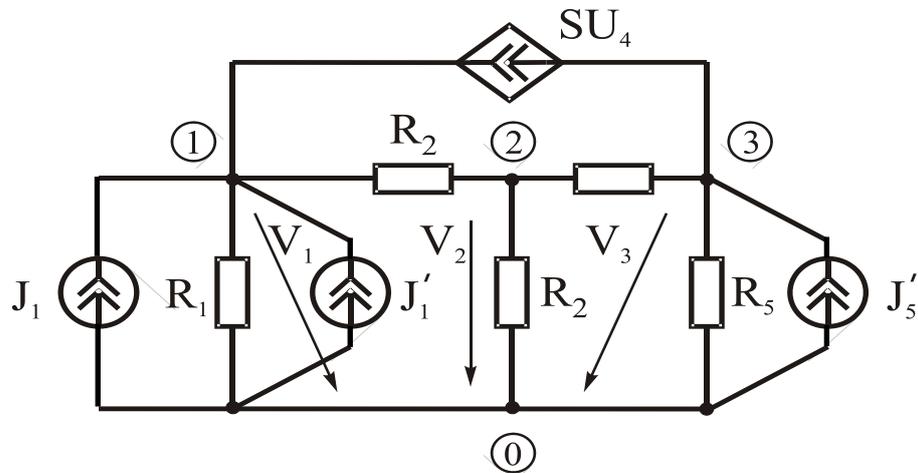


Рис. 2

Выберем в качестве базисного узел 0.

Относительно базисного узла определяем направление узловых напряжений  $V_1, V_2, V_3$ . Эти напряжения узлов цепи, отсчитываемые относительно базисного узла, называют узловыми напряжениями.

**Внимание! При составлении уравнений по методу узловых напряжений предварительно записывать уравнения по первому закону Кирхгофа не нужно!**

Алгоритм формирования узловых уравнений рассмотрен в п. 3.2 учебного пособия. Последовательно просматриваем ветви схемы. Если  $k$ -я ветвь включена между узлами  $i$  и  $j$ , то проводимость этой ветви войдет в элементы матрицы узловых проводимостей, которые находятся на пересечении строк и столбцов с номерами  $i$  и  $j$ . На главной диагонали все проводимости записываем со знаком «+», вне главной диагонали со знаком «-». Процедура составления уравнений заканчивается, когда рассмотрены все ветви.

Матрица узловых проводимостей цепи, показанной на рис. 2:

$$[G] = \begin{bmatrix} G_1 + G_2 & -G_2 - S & 0 \\ -G_2 & G_2 + G_3 + G_4 & -G_3 \\ 0 & -G_3 + S & G_3 + G_5 \end{bmatrix}.$$

Вектор узловых напряжений:

$$[J] = \begin{bmatrix} J_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Система уравнений по методу узловых напряжений:

$$\begin{bmatrix} G_1 + G_2 & -G_2 - S & 0 \\ -G_2 & G_2 + G_3 + G_4 & -G_3 \\ 0 & -G_3 + S & G_3 + G_5 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 + J'_1 \\ 0 \\ J'_5 \end{bmatrix}.$$

Токи ветвей найдем из соотношений:

$$\begin{aligned} I_4 &= G_4 V_2; \\ I_2 &= G_2 (V_1 - V_2); \\ I_3 &= G_3 (V_2 - V_3). \end{aligned}$$

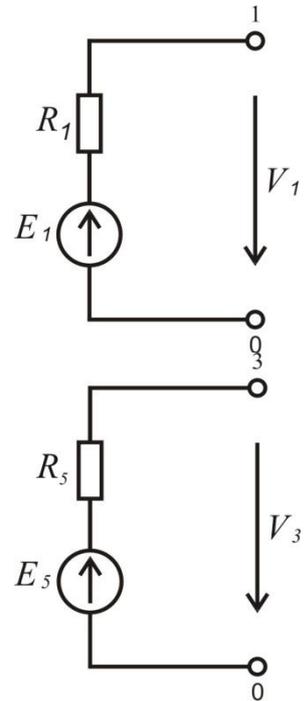
Для того чтобы найти токи  $I_1$  и  $I_5$ , необходимо вернуться к первоначальной схеме и записать уравнения по второму закону Кирхгофа для ветвей с источниками напряжения.

$$-I_1 R_1 + V_1 = E_1,$$

$$I_1 = \frac{(V_1 - E_1)}{R_1}$$

$$I_5 R_5 + V_3 = -E_5$$

$$I_5 = \frac{(-E_5 - V_3)}{R_5}$$



### Требования к оформлению расчетного задания

1. Расчетное задание может быть оформлено с помощью редактора Word либо вручную. Во втором случае все схемы должны быть начерчены карандашом и по линейке.
2. Расчетное задание должно иметь титульный лист.
3. Процесс решения должен сопровождаться краткими пояснениями.
4. Необходимо сначала записывать уравнения в символьном виде, а затем – в числовом.
5. В отчете необходимо привести результаты решения систем уравнений.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Космических и Информационных Технологий

Системы автоматизации, автоматизированного управления и проектирования  
кафедра

## РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ

по дисциплине

**Электротехника и электроника**

Анализ резистивных цепей постоянного тока

тема

Преподаватель

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Студент

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Красноярск 2012