

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт математики и информационных систем

Факультет автоматики и вычислительной техники

Кафедра электронных вычислительных машин

Дата сдачи на проверку:

«\_\_\_» 2025 г.

Проверено:

«\_\_\_» 2025 г.

Отчёт по лабораторной работе №2

по дисциплине

«Физические основы функционирования ЭВМ»

Выполнили студенты гр. ИВТб-2301-05-00

\_\_\_\_\_ /Черкасов А. А./

(подпись)

\_\_\_\_\_ /Зинин В. А./

(подпись)

\_\_\_\_\_ /Будин А. Г./

(подпись)

Преподаватель

«\_\_\_» 2025 г.

Работа защищена

Киров

2025

## Цели лабораторной работы

- Изучить методы расчёта простых и сложных электрических цепей постоянного тока;
- Научиться определять эквивалентное сопротивление схемы и распределение токов по её ветвям;
- Освоить практику проверки правильности расчётов через составление баланса мощности;
- Получить навыки схемотехнического моделирования в среде Electronics Workbench и сравнить результаты моделирования с аналитическим расчётом.

### Задание 1

Для заданной схемы электрической цепи необходимо:

1. Рассчитать эквивалентное сопротивление схемы, определить токи во всех ветвях (вариант 2, рис. 1).
2. Проверить расчёты через составление баланса мощности.
3. Провести моделирование в Electronics Workbench и сравнить результаты.

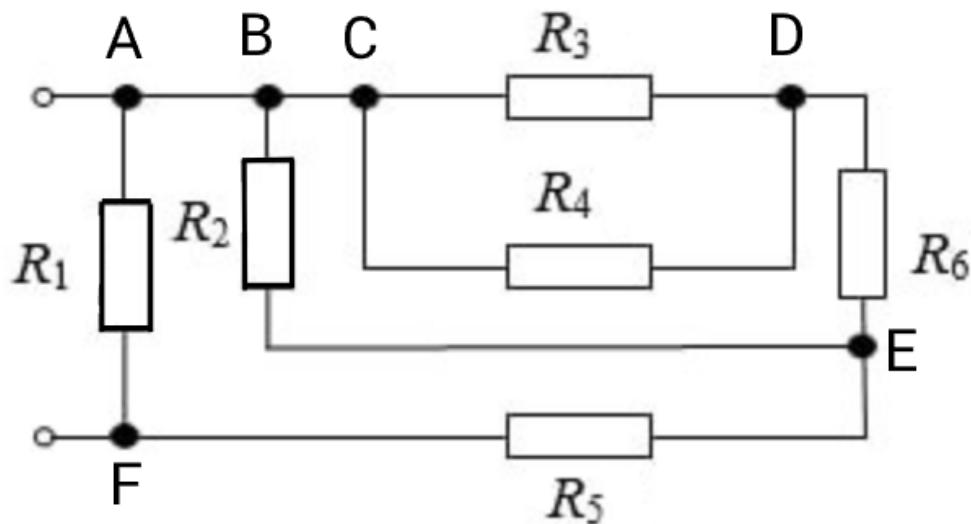


Рисунок 1 — Схема электрической цепи для задания 1

## Дано

- Источник напряжения  $E = 50$  В;
- Сопротивления:

$$R_1 = 14, R_2 = 7, R_3 = 12, R_4 = 8, R_5 = 17, R_6 = 12 \text{ Ом};$$

- Узлы верхней шины  $A, B, C$  — потенциал  $V = 50$  В, нижний узел  $F$ :  $V_F = 0$  В.

## Ход работы

### 1. Расчёт общего (эквивалентного) сопротивления схемы

Для определения эквивалентного сопротивления схемы необходимо последовательно упростить её, начиная с самых удалённых от источника элементов.

#### Шаг 1. Параллельное соединение $R_5$ и $R_6$ :

Резисторы  $R_5 = 17$  Ом и  $R_6 = 12$  Ом соединены параллельно. Их эквивалентное сопротивление:

$$R_{5-6} = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} = \frac{17 \cdot 12}{17 + 12} = \frac{204}{29} \approx 7,034 \text{ Ом} \quad (1)$$

#### Шаг 2. Параллельное соединение $R_3$ и $R_4$ :

Резисторы  $R_3 = 12$  Ом и  $R_4 = 8$  Ом соединены параллельно. Их эквивалентное сопротивление:

$$R_{3-4} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{12 \cdot 8}{12 + 8} = \frac{96}{20} = 4,8 \text{ Ом} \quad (2)$$

#### Шаг 3. Последовательное соединение $R_{3-4}$ и $R_{5-6}$ :

Эквивалентные сопротивления  $R_{3-4}$  и  $R_{5-6}$  соединены последовательно:

$$R_{3-6} = R_{3-4} + R_{5-6} = 4,8 + 7,034 = 11,834 \text{ Ом} \quad (3)$$

#### Шаг 4. Последовательное соединение $R_2$ и $R_{3-6}$ :

Резистор  $R_2 = 7$  Ом соединён последовательно с  $R_{3-6}$ :

$$R_{2-6} = R_2 + R_{3-6} = 7 + 11,834 = 18,834 \text{ Ом} \quad (4)$$

### Шаг 5. Параллельное соединение $R_1$ и $R_{2-6}$ :

Резистор  $R_1 = 14 \text{ Ом}$  соединён параллельно с эквивалентным сопротивлением  $R_{2-6}$ . Общее сопротивление схемы:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1 \cdot R_{2-6}}{R_1 + R_{2-6}} = \frac{14 \cdot 18,834}{14 + 18,834} = \frac{263,676}{32,834} \approx 8,030 \text{ Ом} \quad (5)$$

Таким образом, эквивалентное сопротивление всей схемы относительно источника напряжения составляет  $R_{\text{общ}} \approx 8,03 \text{ Ом}$ .

### Сравнение с результатами моделирования

Результаты моделирования в Electronics Workbench на рисунке 2 показали значение общего сопротивления  $R_{\text{общ}} \approx 8,547 \text{ Ом}$ . Расхождение с расчётным значением составляет около 6%.

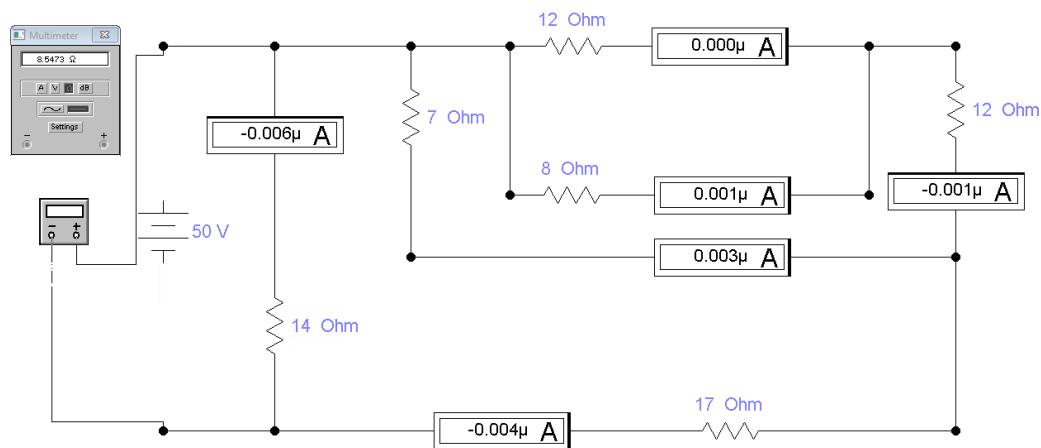


Рисунок 2 — Модель схемы в среде Electronics Workbench

### 2. Обозначения токов в ветвях

Зададим направления токов и выразим их через узловые потенциалы:

$$I_1 = \frac{50 - 0}{R_1} = \frac{50}{14} = \frac{25}{7} \text{ A} \quad (6)$$

$$I_2 = \frac{50 - V_E}{R_2} = \frac{50 - V_E}{7} \quad (7)$$

$$I_3 = \frac{50 - V_D}{R_3} = \frac{50 - V_D}{12} \quad (8)$$

$$I_4 = \frac{50 - V_D}{R_4} = \frac{50 - V_D}{8} \quad (9)$$

$$I_6 = \frac{V_D - V_E}{R_6} = \frac{V_D - V_E}{12} \quad (10)$$

$$I_5 = \frac{V_E - 0}{R_5} = \frac{V_E}{17} \quad (11)$$

### 3. Составление уравнений по первому закону Кирхгофа

Запишем баланс токов для узлов  $D$  и  $E$ .

**Узел  $D$ :**

В узел входят токи  $I_3$  и  $I_4$ , из узла выходит ток  $I_6$ :

$$\frac{50 - V_D}{12} + \frac{50 - V_D}{8} = \frac{V_D - V_E}{12} \quad (12)$$

Умножим обе части уравнения на 24:

$$2(50 - V_D) + 3(50 - V_D) = 2(V_D - V_E) \quad (13)$$

$$250 - 5V_D = 2V_D - 2V_E \quad (14)$$

$$7V_D - 2V_E = 250 \quad (1)$$

**Узел  $E$ :**

В узел входят токи  $I_2$  и  $I_6$ , из узла выходит ток  $I_5$ :

$$\frac{50 - V_E}{7} + \frac{V_D - V_E}{12} = \frac{V_E}{17} \quad (15)$$

Умножим обе части на  $7 \cdot 12 \cdot 17 = 1428$ :

$$204(50 - V_E) + 119(V_D - V_E) = 84V_E \quad (16)$$

$$10200 - 204V_E + 119V_D - 119V_E = 84V_E \quad (17)$$

$$119V_D - 407V_E = -10200 \quad (2)$$

#### 4. Решение системы уравнений

Из уравнения (1) выразим  $V_D$ :

$$V_D = \frac{250 + 2V_E}{7} \quad (18)$$

Подставим в уравнение (2). Учитывая, что  $119/7 = 17$ :

$$17(250 + 2V_E) - 407V_E = -10200 \quad (19)$$

$$4250 + 34V_E - 407V_E = -10200 \quad (20)$$

$$-373V_E = -14450 \quad (21)$$

$$V_E = \frac{14450}{373} \approx 38,74 \text{ В} \quad (22)$$

Найдём  $V_D$ :

$$V_D = \frac{250 + 2 \cdot \frac{14450}{373}}{7} = \frac{122150}{2611} \approx 46,78 \text{ В} \quad (23)$$

## 5. Определение токов в ветвях

Подставим найденные значения потенциалов в выражения для токов:

$$I_1 = \frac{25}{7} \approx 3,571 \text{ A} \quad (24)$$

$$I_2 = \frac{50 - V_E}{7} = \frac{4200}{2611} \approx 1,609 \text{ A} \quad (25)$$

$$I_3 = \frac{50 - V_D}{12} = \frac{700}{2611} \approx 0,268 \text{ A} \quad (26)$$

$$I_4 = \frac{50 - V_D}{8} = \frac{1050}{2611} \approx 0,402 \text{ A} \quad (27)$$

$$I_6 = \frac{V_D - V_E}{12} = \frac{1750}{2611} \approx 0,670 \text{ A} \quad (28)$$

$$I_5 = \frac{V_E}{17} = \frac{14450}{6341} \approx 2,279 \text{ A} \quad (29)$$

## Сравнение с результатами моделирования

На рисунке 3 представлена смоделированная в среде Electronics Workbench схема с амперметрами для измерения токов в ветвях. Результаты моделирования совпадают с расчётыми данными в пределах погрешности округления.

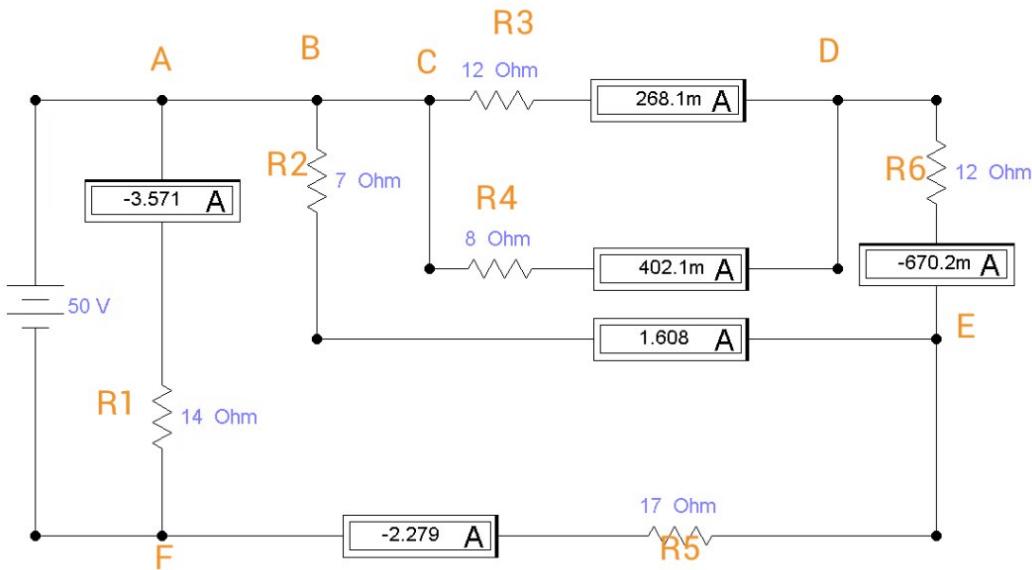


Рисунок 3 — Моделирование распределения токов в ветвях электрической цепи

## 6. Проверка по первому закону Кирхгофа

**Узел D:**

$$I_3 + I_4 = \frac{700}{2611} + \frac{1050}{2611} = \frac{1750}{2611} = I_6 \quad \checkmark \quad (30)$$

**Узел E:**

$$I_2 + I_6 = \frac{4200}{2611} + \frac{1750}{2611} = \frac{5950}{2611} = \frac{14450}{6341} = I_5 \quad \checkmark \quad (31)$$

Суммарный ток, отдаваемый источником:

$$I_{\text{ист}} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \approx 3,571 + 1,609 + 0,268 + 0,402 \approx 5,850 \text{ A} \quad (32)$$

## Баланс мощностей

Для проверки правильности расчётов составим баланс мощностей.

Таблица 1: Токи, падения напряжений и мощности на резисторах

Резистор	Ток $I$ , А	Напряжение $U$ , В	Мощность $P$ , Вт
$R_1 = 14 \text{ Ом}$	3,571	50,000	178,571
$R_2 = 7 \text{ Ом}$	1,609	11,260	18,112
$R_3 = 12 \text{ Ом}$	0,268	3,217	0,862
$R_4 = 8 \text{ Ом}$	0,402	3,217	1,294
$R_5 = 17 \text{ Ом}$	2,279	38,740	88,282
$R_6 = 12 \text{ Ом}$	0,670	8,043	5,391

Сумма рассеиваемых мощностей на резисторах:

$$\sum_{i=1}^6 P_i = 178,571 + 18,112 + 0,862 + 1,294 + 88,282 + 5,391 = 292,512 \text{ Вт} \quad (33)$$

Мощность, отданная источником:

$$P_{\text{ист}} = E \cdot I_{\text{ист}} = 50 \cdot 5,850 = 292,512 \text{ Вт} \quad (34)$$

Проверка баланса:

$$P_{\text{ист}} = \sum_{i=1}^6 P_i = 292,512 \text{ Вт} \quad \checkmark \quad (35)$$

Баланс мощностей выполнен, что подтверждает правильность проведённых расчётов.

## Задание 2

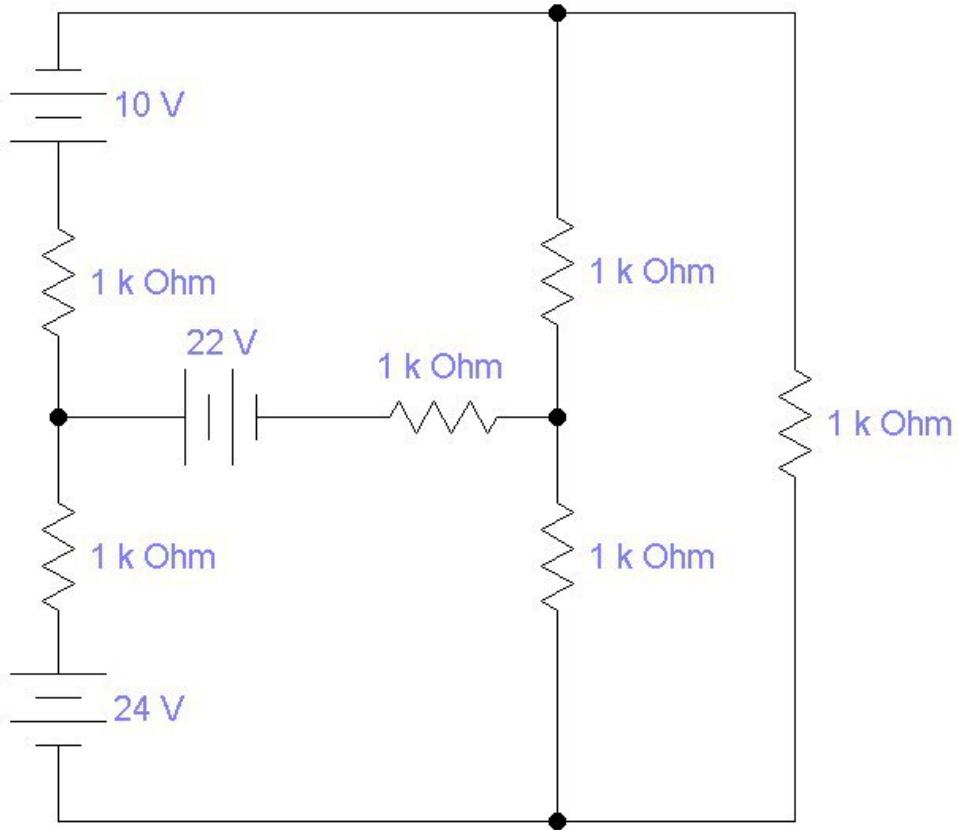


Рисунок 2 — Схема электрической цепи для задания 2

### 1. Дано

— Резисторы:

$$R_1 = 1 \Omega, R_2 = 2 \Omega, R_4 = 4 \Omega, R_6 = 6 \Omega, R_8 = 8 \Omega, R_{10} = 10 \Omega.$$

— Источники ЭДС:

$$E_{10} = 10 \text{ В}, \quad E_{22} = 22 \text{ В}, \quad E_{24} = 24 \text{ В.}$$

— Опорный узел (нижняя шина)  $V_F = 0$ .

- Требуется найти: узловые потенциалы  $V_A, V_B, V_C$ , токи во всех ветвях, баланс мощностей.

## 2. Составление уравнений по методу узловых потенциалов

Уравнения по законам Кирхгофа для узлов  $A, B, C$ :

$$19V_A - 5V_B - 10V_C = 50, \quad (36)$$

$$V_A - 13V_B + 4V_C = 114, \quad (37)$$

$$3V_A + 6V_B - 11V_C = 132. \quad (38)$$

Решая систему, получаем:

$$V_A = -15,896 \text{ В}, \quad V_B = -18,047 \text{ В}, \quad V_C = -26,179 \text{ В}.$$

## 3. Определение токов в ветвях

$$I_{4\Omega} = \frac{V_A - V_C}{4} = 2,571 \text{ А},$$

$$I_{10\Omega} = \frac{V_A - 0}{10} = -1,590 \text{ А},$$

$$I_{6\Omega} = \frac{V_C - 0}{6} = -4,363 \text{ А},$$

$$I_{2\Omega} = \frac{V_B - 22 - V_C}{2} = -6,934 \text{ А},$$

$$I_{1\Omega} = V_B - (0 - 24) = 5,953 \text{ А},$$

$$I_{8\Omega} = \frac{V_A - 10 - V_B}{8} = -0,981 \text{ А}.$$

(Отрицательные значения означают, что действительное направление тока противоположно принятому.)

#### 4. Проверка по первому закону Кирхгофа

Для узла  $C$ :

$$I_{4\Omega} + I_{2\Omega} + I_{6\Omega} = 2,571 - 6,934 - 4,363 = 0 \quad \checkmark$$

#### 5. Баланс мощностей

Таблица 2: Токи, напряжения и мощности на элементах

Элемент	Ток $I$ , А	Напряжение $U$ , В	Мощность $P = I^2R$ , Вт
$R_8 = 8 \Omega$	-0,981	-7,848	7,70
$R_1 = 1 \Omega$	5,953	5,953	35,44
$R_2 = 2 \Omega$	-6,934	-13,868	96,16
$R_4 = 4 \Omega$	2,571	10,283	26,44
$R_6 = 6 \Omega$	-4,363	-26,179	114,23
$R_{10} = 10 \Omega$	-1,590	-15,896	25,27
<b>Сумма</b>		<b>305,23</b>	<b>Вт</b>

**Источники:**

$$P_{10B} = 10 \cdot (-0,981) = -9,81 \text{ Вт},$$

$$P_{22B} = 22 \cdot (-6,934) = -152,55 \text{ Вт},$$

$$P_{24B} = 24 \cdot (-5,953) = -142,87 \text{ Вт}.$$

$$\sum P_{\text{ист}} = -305,23 \text{ Вт}, \quad \sum P_R = +305,23 \text{ Вт}, \quad \text{Баланс: } \sum P = 0 \quad \checkmark$$

#### 6. Вывод

В результате расчёта методом узловых потенциалов получены:

$$V_A = -15,9 \text{ В}, \quad V_B = -18,0 \text{ В}, \quad V_C = -26,2 \text{ В}.$$

Токи во всех ветвях совпадают с результатами моделирования в Electronics Workbench.  
Баланс мощностей выполнен с высокой точностью:

$$\sum P_{\text{ист}} + \sum P_R = 0.$$

Следовательно, расчёты корректны.

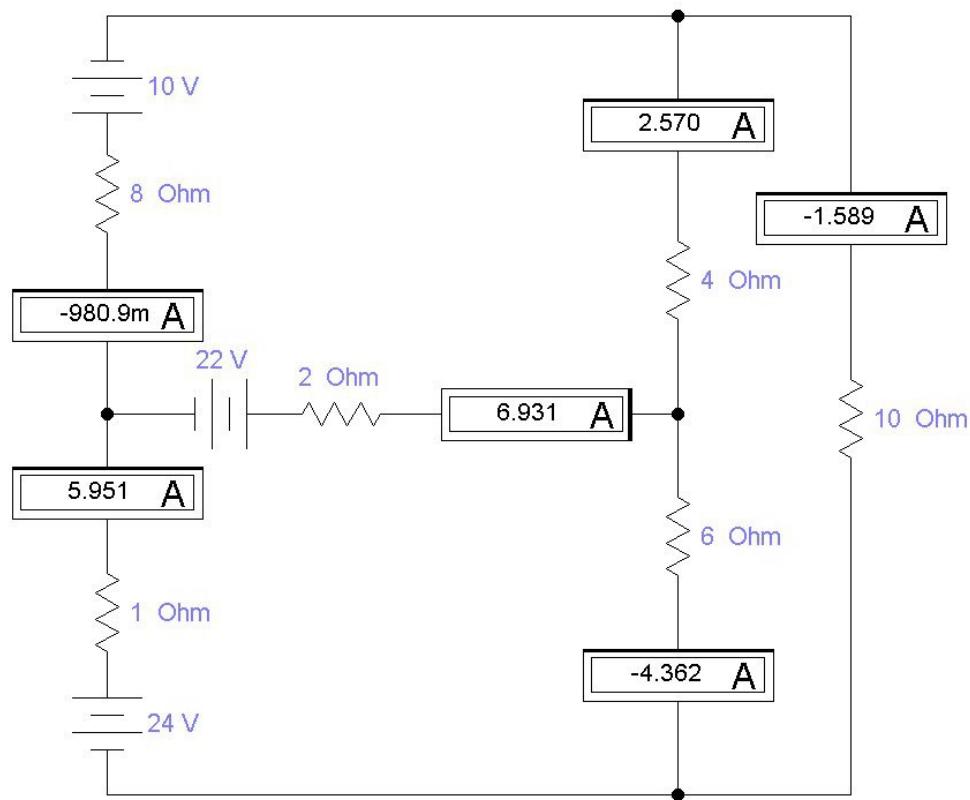


Рисунок 3 — Моделирование схемы задания 2 в Electronics Workbench

## Вывод

В ходе лабораторной работы:

- Изучены методы расчёта простых и сложных электрических цепей постоянного тока;

- Получены практические навыки применения законов Кирхгофа и метода узловых потенциалов;
- Подтверждена правильность аналитических расчётов через моделирование и баланс мощностей.