

# Лабораторно-практическое занятие № 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ОДНИМ ИСТОЧНИКОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

### Типовые задачи

**Задача 1.1.** Генератор постоянного тока бортовой сети самолета при токе 20 А имеет на зажимах напряжение 200 В, а при токе 60 А – 196 В. Определить внутреннее сопротивление и ЭДС источника электрической энергии. Построить внешнюю характеристику, используя данные таблицы 1.1.

#### Решение

Генератор является реальным источником ЭДС и имеет схему замещения (рис.1.1, а). Основной характеристикой, связывающей напряжение на генераторе и ток нагрузки, является вольтамперная характеристика, называемая *внешней характеристикой*. Она описывается уравнением

$$U = E - R_0 I \quad (1.1)$$

и представляет собой прямую линию (рис. 1.1 ,б).

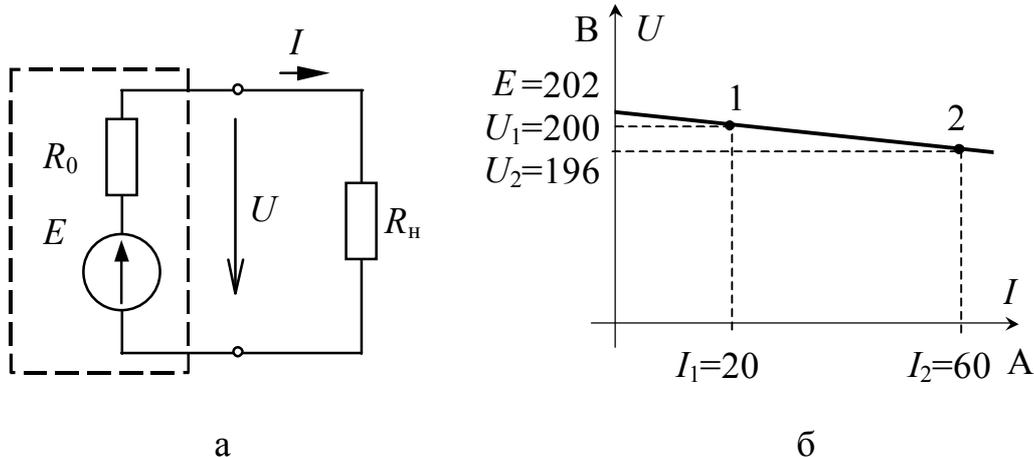


Рис. 1.1

Заданы два рабочих режима (точки 1 и 2), описываемых этим уравнением (1.1), следовательно, можно составить систему из этих двух уравнений, путем решения которой определить  $E$  и  $R_0$ :

$$\begin{cases} U_1 = E - R_0 \cdot I_1, \\ U_2 = E - R_0 \cdot I_2, \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} 200 = E - R_0 \cdot 20, \\ 196 = E - R_0 \cdot 60. \end{cases}$$

Откуда  $E = 202 \text{ В}$ ,  $R_0 = 0,1 \text{ Ом}$ .

Решить задачу 1.1 самостоятельно, используя данные таблицы 1.1. Номер варианта выдается преподавателем.

**Задача 1.2.** Заданы параметры элементов электрической цепи  $E$ , В,  $R_1$ , Ом.

- 1) определить токи в ветвях;
- 2) определить показание вольтметра  $PV$ .

*Решение*

Цепь имеет один источник ЭДС, поэтому для определения токов в ветвях необходимо воспользоваться методом эквивалентных преобразований, т.е. сложное смешанное соединение приемников (рис. 1.2,а) путем поэтапных преобразований привести к простейшему виду (рис. 1.3,б)

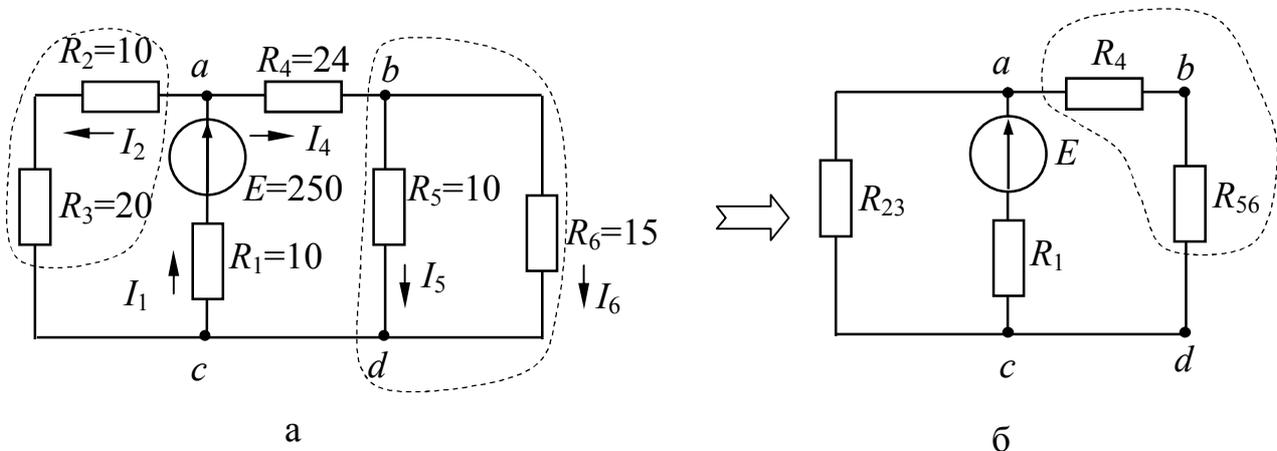


Рис. 1.2

Исходное направление токов в ветвях выбирают произвольно. Цепь имеет 5 ветвей и 3 узла. Вольтметр не создает пути для протекания тока, так как  $R_v \rightarrow \infty$ , поэтому в расчетную схему его не включают.

1. Определение эквивалентного сопротивления  $R_3$ .

Схема «сворачивается» к источнику ЭДС. Сопротивления  $R_5$  и  $R_6$  соединены параллельно, их эквивалентное сопротивление определяется из условия:

$$\frac{1}{R_{56}} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} \quad \text{или} \quad R_{56} = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = 6 \text{ Ом.}$$

Сопротивление  $R_4$  соединено последовательно с  $R_{56}$

$$R_{456} = R_4 + R_{56} = 24 + 6 = 30 \text{ Ом.}$$

Сопротивления  $R_2$  и  $R_3$  соединены последовательно (представляют собой одну ветвь)

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 10 + 20 = 30 \text{ Ом.}$$

В результате проведенных преобразований схема имеет вид (рис. 1.3, а).

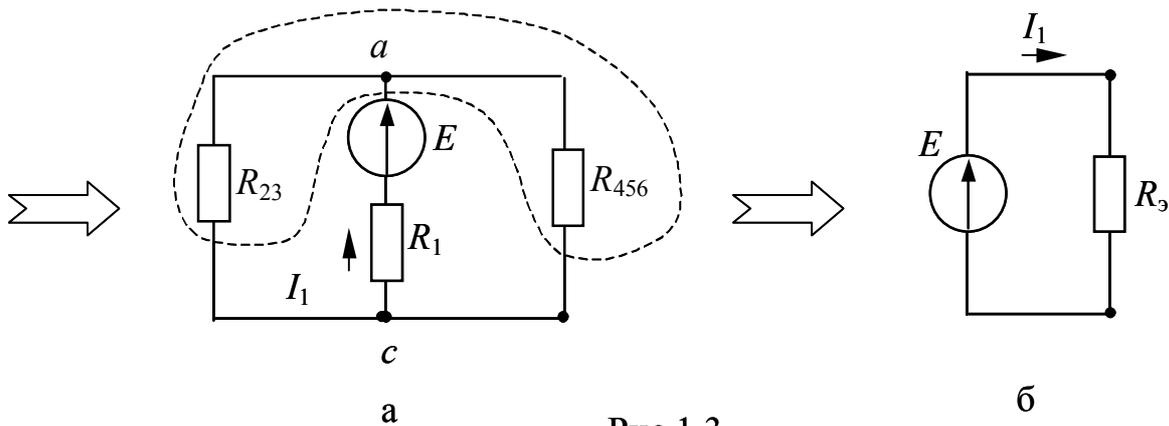


Рис.1.3

Сопротивления  $R_{23}$  и  $R_{456}$  соединены параллельно, так как имеют общие узлы  $a$  и  $c$

$$R_{23456} = \frac{R_{23} \cdot R_{456}}{R_{23} + R_{456}} = \frac{30 \cdot 30}{30 + 30} = 15 \text{ Ом.}$$

Сопротивление  $R_1$  соединено с  $R_{23456}$  последовательно, это и будет эквивалентное сопротивление (рис. 1.3, б)

$$R_9 = R_1 + R_{23456} = 10 + 15 = 25 \text{ Ом.}$$

## 2. Определение токов в ветвях.

Ток, протекающий через источник,  $I_1 = \frac{E}{R_9} = \frac{250}{25} = 10 \text{ А.}$

Остальные токи определяются по I и II законам Кирхгофа.

Для контура, содержащего сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , можно составить уравнение по II закону Кирхгофа. Направление обхода выбирают произвольно, например, против часовой стрелки

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_2 = E,$$

$$I_2 = \frac{E - R_1 I_1}{R_2 + R_3} = \frac{250 - 10 \cdot 10}{10 + 20} = 5 \text{ А.}$$

Ток  $I_4$  определяется по I закону Кирхгофа, уравнение для узла  $a$  имеет вид:  $I_1 - I_2 - I_4 = 0$ ;  $I_4 = I_1 - I_2 = 10 - 5 = 5$  А.

Токи  $I_5$  и  $I_6$  можно определить аналогично токам  $I_2$  и  $I_4$  по законам Кирхгофа, или с точки зрения удобства воспользоваться формулами разброса

$$I_5 = I_4 \frac{R_6}{R_5 + R_6} = 5 \cdot \frac{15}{10 + 15} = 3 \text{ А},$$

$$I_6 = I_4 \frac{R_5}{R_5 + R_6} = 5 \cdot \frac{10}{10 + 15} = 2 \text{ А}.$$

Эти формулы получены из условия, что токи в ветвях обратно – пропорциональны сопротивлениям рассматриваемых ветвей.

### 3. Определение показаний вольтметра $pV$ .

Вольтметр можно заменить стрелкой напряжения  $V_{ed}$  произвольного направления (рис. 1.4). Для этого контура напряжений уравнение по II закону Кирхгофа имеет вид

$$U_{bd} - R_2 I_2 + R_4 I_4 = 0,$$

отсюда

$$U_{bd} = R_2 I_2 - R_4 I_4 = 10 \cdot 5 - 24 \cdot 5 = -70 \text{ В}.$$

Знак «минус» показывает, что выбранное направление напряжения ошибочно, истинное направление противоположно, а показание вольтметра  $pV$  составит 70 В.

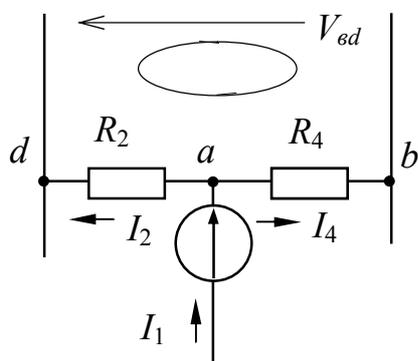


Рис. 1.4

### 4. Анализ результатов – составление баланса мощностей.

Для проверки правильности выполненного решения необходимо составить баланс мощностей – мощность, производимая источником, равна сумме мощностей, производимых приемниками

$$P_{\text{ист}} = EI_1 = 250 \cdot 10 = 2500 \text{ Вт},$$

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{приемн}} &= R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_2^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2 + R_6 I_6^2 = \\ &= 10 \cdot 10^2 + (10 + 20) \cdot 5^2 + 24 \cdot 5^2 + 10 \cdot 3^2 + 15 \cdot 2^2 = 2500 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Баланс выполняется, значит, токи определены верно.

Решить задачу 1.2 самостоятельно, исходя из данных таблицы 1.2. Номер варианта выдается преподавателем.

**Задача 1.3.** Определить входное сопротивление цепи  $R_{ав}$ .

*Решение*

Исходную схему (рис. 1.5, а) необходимо преобразовать к удобному виду. Линии  $aa$  и  $bb$  не имеют собственного сопротивления. Они соединяют равнопотенциальные точки, поэтому цепь имеет вид (рис. 1.5, б).

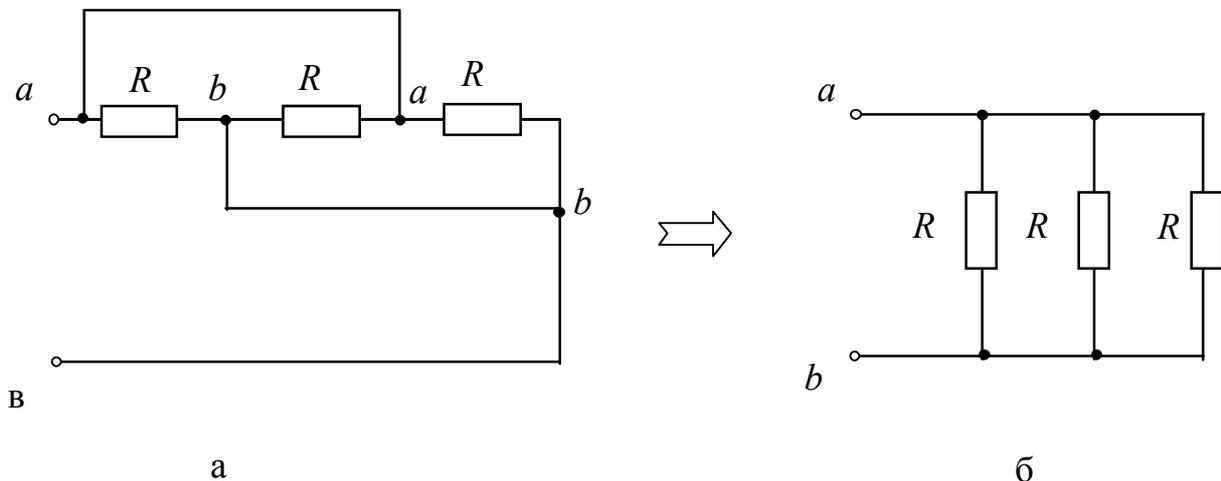


Рис. 1.5

Эквивалентное сопротивление относительно точек  $ab$  равно:

$$\frac{1}{R_{ав}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{R}; \quad R_{ав} = \frac{R}{3} \text{ Ом.}$$

Решить задачу 1.3 самостоятельно, опираясь на данные таблицы 1.3. Номер варианта выдается преподавателем.

**Задача 1.4.** Определить входное сопротивление цепи  $R_{ab}$ , используя данные таблицы 1.4.

*Решение*

Заземленные узлы в исходной схеме являются равнопотенциальными ( $\varphi=0$ ), поэтому их можно «стянуть» в одну точку  $c$ ; в результате образуется схема (рис. 1.6, б), в которой сопротивления  $R_5$  и  $R_6$  находятся между точками равного потенциала, ток через них не

пойдет, поэтому они не будут влиять на входное сопротивление цепи  $R_{ab}$ .

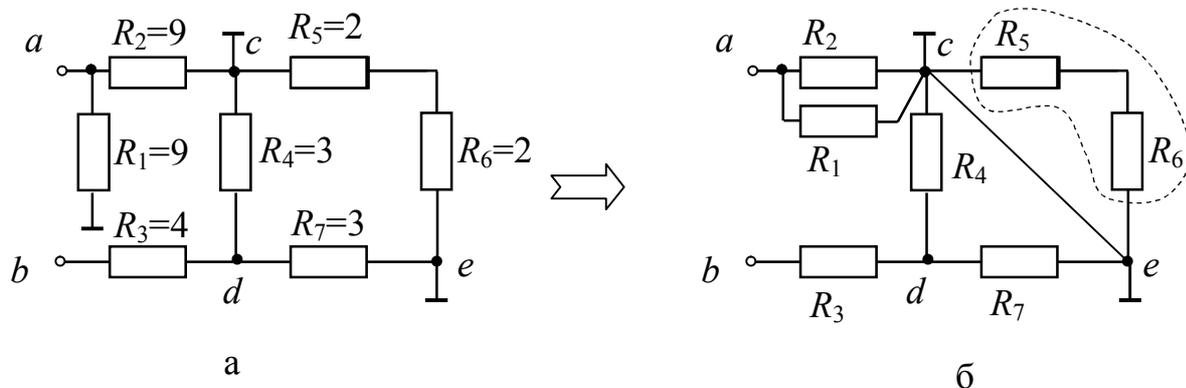


Рис. 1.6.

Заземленные узлы в исходной схеме являются равнопотенциальными ( $\varphi=0$ ), поэтому их можно «стянуть» в одну точку  $c$ ; в результате образуется схема (рис. 1.6, б), в котором сопротивления  $R_5$  и  $R_6$  находятся между точками равного потенциала, ток через них не пойдет, поэтому они не будут влиять на входное сопротивление цепи  $R_{ab}$ .

Эквивалентное сопротивление

$$R_{ab} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_4 \cdot R_7}{R_4 + R_7} + R_3 = \frac{9 \cdot 9}{9 + 9} + \frac{3 \cdot 3}{3 + 3} + 4 = 10 \text{ Ом.}$$

Решить задачу 1.4 самостоятельно, используя данные таблицы 1.4. Номер варианта выдается преподавателем.

**Задача 1.5.** В схеме измерительного моста заданы параметры электрической цепи  $E$  [В],  $R_i$  [Ом]. Определить ток  $I$ , используя данные таблицы 1.5.

*Решение:*

В исходной схеме измерительного моста (рис. 1.7,а) сопротивления  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$  – соединены между собой либо «звездой», либо «треугольником». Для определения эквивалентного сопротивления цепи необходимо один из треугольников преобразовать в звезду (рис. 1.7,б) либо наоборот. Используем готовые формулы такого преобразования

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_5} = \frac{1 \cdot 1,6}{1 + 1,6 + 2} = 0,348 \text{ Ом};$$

$$R_{51} = \frac{R_5 \cdot R_1}{R_1 + R_2 + R_5} = \frac{1 \cdot 2}{1 + 1,6 + 2} = 0,435 \text{ Ом};$$

$$R_{25} = \frac{R_2 \cdot R_5}{R_1 + R_2 + R_5} = \frac{1,6 \cdot 2}{1 + 1,6 + 2} = 0,696 \text{ Ом}.$$

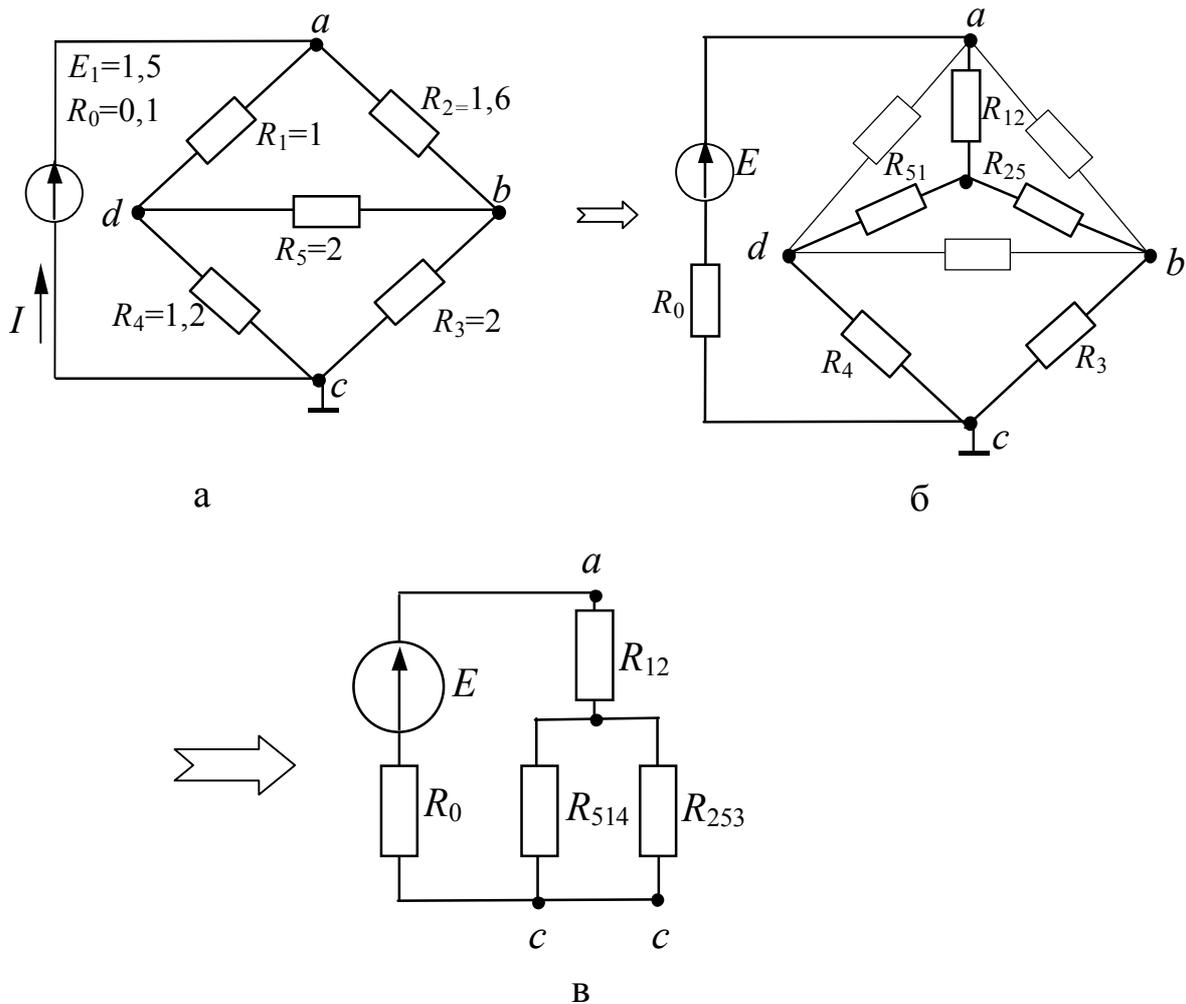


Рис. 1.7

Сопротивления  $R_{51}$  и  $R_4$ , а также  $R_{25}$  и  $R_3$  оказались соединенными последовательно, их эквивалентные сопротивления равны:

$$R_{514} = R_{51} + R_4 = 0,435 + 1,2 = 1,635 \text{ Ом};$$

$$R_{253} = R_{25} + R_3 = 0,696 + 2 = 2,696 \text{ Ом}.$$

В результате эквивалентное сопротивление цепи (рис. 1.7, в) составит:

$$R_3 = R_0 + R_{12} + \frac{R_{514} + R_{253}}{R_{514} + R_{253}} = 0,1 + 0,348 + \frac{1,635 \cdot 2,696}{1,635 + 2,696} = 1,466 \approx 1,5 \text{ Ом.}$$

Ток, потребляемый измерительной схемой

$$I = \frac{E}{R_3} = \frac{1,5}{1,5} = 1 \text{ А.}$$

Решить задачу 1.5 самостоятельно, исходя из данных таблицы 1.5. Номер варианта выдается преподавателем.

### Варианты заданий к самостоятельной работе

Таблица 1.1

Параметры	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$I_1, \text{ А}$	100	50	70	70	10	60	300	120
$U_1, \text{ В}$	25	100	35	35	25	300	22	100
$I_2, \text{ А}$	200	150	200	200	30	120	600	240
$U_2, \text{ В}$	23	95	30	30	240	280	20	96

Таблица 1.2

Параметры	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$E, \text{ В}$	125	500	50	750	25	250	100	125
$R_1, \text{ Ом}$	5	20	2	30	1	100	4	50
$R_2, \text{ Ом}$	5	20	2	30	1	100	4	50
$R_3, \text{ Ом}$	10	40	4	60	2	200	8	100
$R_4, \text{ Ом}$	12	48	4,8	72	2,4	240	9,6	120
$R_5, \text{ Ом}$	5	20	2	30	1	100	4	50
$R_6, \text{ Ом}$	7,5	30	3	45	1,5	150	6	75

Таблица 1.3

Параметры	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$R, \text{ Ом}$	3	6	9	12	15	60	30	90

Таблица 1.4

Параметры	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$R_1, \text{ Ом}$	10	5	100	20	4	50	15	120
$R_2, \text{ Ом}$	10	5	100	20	4	50	15	120
$R_3, \text{ Ом}$	2	3	30	70	5	40	1	25
$R_4, \text{ Ом}$	6	9	4	40		70	3	30
$R_5, \text{ Ом}$	5	8	80	10	4	20	6	50
$R_6, \text{ Ом}$	1	2	60	30	5	10	4	10
$R_7, \text{ Ом}$	6	9	40	40	6	70	3	30

Таблица 1.5

Параметры	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$E, \text{ В}$	10	50	20	100	30	5	80	60
$R_0, \text{ Ом}$	0,1	0,2	0,5	0,2	1	0,1	0,5	0,2
$R_1, \text{ Ом}$	10	30	60	20	15	6	20	90
$R_2, \text{ Ом}$	20	30	60	40	15	6	50	90
$R_3, \text{ Ом}$	10	20	50	30	10	2	20	50
$R_4, \text{ Ом}$	50	40	20	50	20	4	30	30
$R_5, \text{ Ом}$	40	30	60	20	15	6	10	90