



Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

## **Методические указания**

**В.И. Волченсков, Г.Ф. Дробышев**

# **РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

В.И. Волченсков, Г.Ф. Дробышев

## РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Методические указания к выполнению  
домашнего задания по курсу  
«Электротехника и электроника»*

Москва

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

2011

УДК 621.319

ББК 31.2

В17

Рецензент *А.А. Мальцев*

**Волченсков В.И.**

**В17** Расчет линейных цепей постоянного тока : метод. указания к выполнению домашнего задания по курсу «Электротехника и электроника» / В.И. Волченсков, Г.Ф. Дробышев. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 32 с. : ил.

Рассмотрены основные методы расчета цепей постоянного тока. Приведены содержание, последовательность выполнения домашнего задания, а также требования к оформлению задания.

Для студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана, изучающих курс «Электротехника».

Рекомендовано Научно-методической комиссией НУК ФН МГТУ им. Н.Э. Баумана.

УДК 621.319

ББК 31.2

*Учебное издание*

**Волченсков** Валерий Иванович

**Дробышев** Георгий Федорович

**Расчет линейных цепей постоянного тока**

Редактор *О.М. Королева*

Корректор *Е.В. Авалова*

Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

Подписано в печать 11.09.2011. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,86. Тираж 500 экз. Изд. № 156. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана.

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011

**Цель работы** — изучение методов анализа электрических цепей с применением законов Ома и Кирхгофа, определение неизвестных токов и напряжений в заданных электрических цепях разными методами.

## **1. СОДЕРЖАНИЕ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЕ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ**

1. В соответствии с вариантом домашнего задания, нарисовать заданную схему электрической цепи и выписать исходные числовые данные из таблицы исходных данных, приведенной в приложении П1.1.

2. Для заданной схемы электрической цепи составить систему уравнений с помощью законов Кирхгофа, подставить числовые значения, соответствующие рассматриваемому варианту задания, и, используя компьютер, определить все токи в ветвях схемы.

3. Записать уравнение баланса мощностей для заданной схемы электрической цепи, подставить известные числовые значения и оценить относительную погрешность расчета.

4. Для заданной схемы электрической цепи составить систему уравнений, применяя метод контурных токов, подставить числовые значения и, используя компьютер, определить все токи в ветвях заданной схемы.

5. Преобразовать заданную схему электрической цепи в эквивалентную, заменив пассивный треугольник резисторов  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  эквивалентной звездой. Начертить полученную электрическую цепь с эквивалентной звездой и обозначить на ней токи. Рассчитать полученную электрическую цепь, используя метод межузлового напряжения (метод двух узлов). Определить все токи, соответствующие заданной схеме электрической цепи.

6. Определить ток в резисторе  $R_6$  методом эквивалентного генератора. Сопоставить полученное значение этого тока с результатами расчета его другими методами.

7. Определить показание вольтметра, указанного в заданной схеме электрической цепи.

8. Рассчитать и построить потенциальную диаграмму для внешнего контура заданной схемы электрической цепи.

9. Сопоставить рассмотренные методы расчета электрических цепей, сделать соответствующие выводы.

Последовательность выполнения и оформление домашнего задания.

1) вариант домашнего задания выбирается из таблицы, приведенной в приложении П1.1. Номер варианта соответствует номеру, под которым студент записан в журнале старосты группы;

2) домашнее задание выполняется на листах А4 с использованием компьютера. Образец оформления титульного листа приведен в приложении П1.2;

3) перед выполнением очередного пункта домашнего задания необходимо написать заголовок и пояснить дальнейшие действия. При выполнении вычислений нужно: привести расчетную формулу, подставить числовые значения всех величин, входящих в формулу, записать ответ с указанием единиц измерения в системе СИ;

4) используемые обозначения в формулах и на схемах должны соответствовать ГОСТу;

5) после выполнения домашнего задания работа сдается на проверку преподавателю;

6) работа над ошибками должна выполняться с новой страницы. Следует написать заголовок «Работа над ошибками» и далее выполнять работу над ошибками, заново приводя исправленные рисунки, формулы и расчеты;

7) срок сдачи домашнего задания — 8-я неделя.

По указанию преподавателя отдельные пункты домашнего задания могут быть опущены.

## 2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 2.1. Расчет токов в цепи методом непосредственного использования законов Кирхгофа

Непосредственное применение законов Кирхгофа позволяет установить связь неизвестных токов во всех ветвях схемы с заданными источниками ЭДС при известных параметрах цепи в виде системы уравнений, совместное решение которых дает числовые значения всех токов. Составление этих уравнений выполняют в определенной последовательности.

Рассмотрим в качестве примера схему электрической цепи, изображенную на рис. 1. Сначала обозначим на схеме стрелками все токи. Направление их зададим произвольно. Число неизвестных токов в рассматриваемой схеме равно шести. Для определения шести неизвестных необходимо составить, используя законы Кирхгофа, систему из шести уравнений.

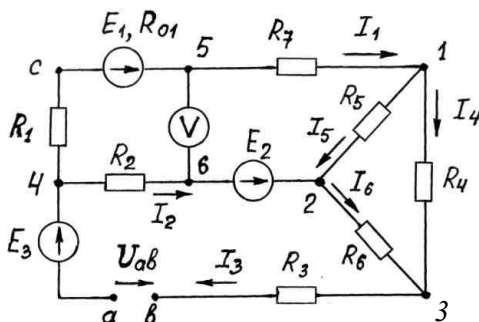


Рис. 1

В рассматриваемой схеме четыре узла ( $y = 4$ ) и шесть ветвей ( $b = 6$ ).

*Первый закон Кирхгофа* формулируется следующим образом: алгебраическая сумма всех токов, сходящихся к узлу электрической цепи, равна нулю:

$$\sum \pm I_k = 0.$$

Токи, направленные к узлу, принимают положительными, и их значения записывают со знаком «+», а токи, направленные от узла, — отрицательными, и их значения записывают со знаком «-».

По первому закону Кирхгофа следует составить  $(y - 1)$  независимых уравнений, т. е. на единицу меньше, чем число узлов в схеме.

Для любых трех узлов схемы (см. рис. 1), например для узлов 1—3, соответственно получим следующие уравнения:

$$\begin{aligned} I_1 - I_4 - I_5 &= 0; \\ I_2 + I_5 - I_6 &= 0; \\ I_6 + I_4 - I_3 &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

*Второй закон Кирхгофа* применяют к замкнутым контурам электрической цепи. Он формулируется так: в любом замкнутом контуре алгебраическая сумма ЭДС в ветвях контура равна алгебраической сумме падений напряжений на всех резисторах, входящих в этот контур, т. е.

$$\sum \pm E_k = \sum \pm R_k I_k. \quad (2)$$

К этой общепринятой записи следует добавить, что со знаком «+» в уравнение (2) входят все  $E_k$  и все произведения  $R_k I_k$ , для которых направления ЭДС и токов (указываемые в схеме, приведенной на рис. 1, стрелками) совпадают с выбранным направлением обхода контура.

Формула (2) распространяется и на часть контура, обход по которому обрывается в точке  $a$  и возобновляется в точке  $b$ . В этом случае в правую часть (2) добавляют напряжение между этими точками  $U_{ab}$ :

$$\sum E_k = \sum R_k I_k + U_{ab}, \quad (3)$$

при этом учитывают прежнее правило знаков.

Для электрической цепи, изображенной на рис. 1, имеющей шесть ветвей, можно записать согласно второму закону Кирхгофа  $[b - (y - 1)] = 3$  независимых уравнения для трех независимых замкнутых контуров. Выбрав направление обхода во всех контурах, например, по ходу часовой стрелки, получим соответственно для верхнего, нижнего и правого контуров следующие уравнения:

$$\begin{aligned}
R_1 I_1 + R_{01} I_1 + R_5 I_5 - R_2 I_2 &= E_1 - E_2; \\
R_2 I_2 + R_6 I_6 + R_3 I_3 - U_{ab} &= E_2 + E_3; \\
-R_5 I_5 + R_4 I_4 - R_6 I_6 &= 0.
\end{aligned}
\tag{4}$$

Уравнения (1) и (4) составляют полную систему уравнений, полученных по законам Кирхгофа для рассматриваемой электрической схемы (см. рис. 1). Подставив в систему уравнений (1), (4) известные числовые значения сопротивлений, ЭДС и напряжения  $U_{ab}$ , с помощью компьютера определяем все токи в схеме.

## 2.2. Составление уравнения баланса мощностей

Для проверки правильности выполненного расчета используют метод, основанный на рассмотрении энергетических соотношений в заданной электрической цепи.

Согласно закону Джоуля — Ленца количество теплоты, выделяющейся в единицу времени в резисторах электрической цепи (в приемниках электрической энергии), должно равняться энергии, доставляемой за то же время источниками питания. Так как мощность равна энергии, расходуемой в единицу времени, то уравнение баланса мощностей при питании от источников напряжения имеет вид

$$P_{\text{ист}} = P_{\text{прием}},$$

или

$$\sum \pm EI + \sum \mp U_{ab} I = \sum RI^2,$$

где  $P_{\text{ист}}$  — мощность, отдаваемая источниками в цепь;  $P_{\text{прием}}$  — мощность, потребляемая пассивными приемниками.

При этом если через источник ЭДС  $E$  течет ток  $I$  так, что направление тока совпадает с направлением ЭДС, то слагаемое  $EI$  берется со знаком «+», т. е. источник ЭДС отдает энергию в цепь. В противном случае  $EI$  берется со знаком «-», т. е. источник ЭДС потребляет энергию из цепи.

Если источник задан в виде напряжения на его зажимах (например,  $U_{ab}$  на рис. 1), то его мощность определяется как  $U_{ab}I$  со знаком «+»; если напряжение  $U_{ab}$  и ток  $I$  направлены навстречу друг другу, и если напряжение  $U_{ab}$  и ток  $I$ , проходящий через этот



источник, совпадают по направлению, то произведение  $U_{ab}I$  берется со знаком « $\leftarrow$ ».

При выполнении реальных расчетов  $P_{\text{ист}}$  и  $P_{\text{прием}}$  могут несколько различаться. Чтобы оценить несовпадение  $P_{\text{ист}}$  и  $P_{\text{прием}}$ , вычисляют относительную погрешность:

$$\delta = \frac{P_{\text{ист}} - P_{\text{прием}}}{P_{\text{ист}}} \cdot 100 \, \%.$$

При выполнении расчетов на компьютере эта погрешность не должна превышать 1 %.

### 2.3. Расчет токов в цепи методом контурных токов

Метод контурных токов основан на использовании законов Кирхгофа. По сравнению с методом непосредственного применения законов Кирхгофа метод контурных токов проще, обладает меньшей трудоемкостью, так как требуется решать систему с меньшим числом уравнений, число которых равно числу независимых контуров в схеме.

Пусть исходная схема (рис. 2) имеет три независимых контура. Для расчета ее методом контурных токов требуется решить систему из трех уравнений.

Рассмотрим последовательность решения задачи методом контурных токов.

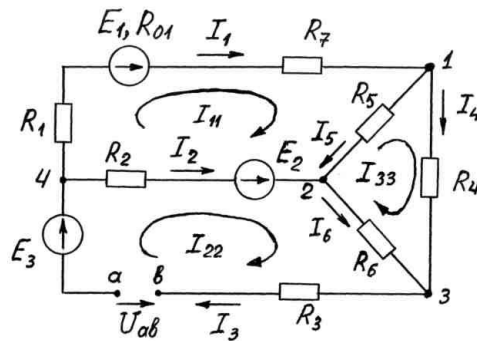


Рис. 2

1. Зададим стрелками положительные направления токов  $I_1, I_2, \dots, I_6$  в ветвях схемы.

2. Зададим стрелками положительные направления контурных токов  $I_{11}, I_{22}, I_{33}$  в независимых контурах схемы (либо все по ходу часовой стрелки, либо все против ее хода).

3. Запишем в общем виде систему  $n$  уравнений, где  $n$  — число контурных токов:

$$\begin{aligned} I_{11}R_{11} + I_{22}R_{12} + I_{33}R_{13} &= E_{11}; \\ I_{11}R_{21} + I_{22}R_{22} + I_{33}R_{23} &= E_{22}; \\ I_{11}R_{31} + I_{22}R_{32} + I_{33}R_{33} &= E_{33}. \end{aligned} \quad (5)$$

4. Вычислим все коэффициенты системы уравнений (5):

- $R_{11}, R_{22}, R_{33}$  — равны арифметической сумме сопротивлений рассматриваемого контура (например,  $R_{11} = R_1 + R_{01} + R_7 + R_5 + R_2$ );

- $R_{12} = R_{21}, R_{13} = R_{31}, R_{23} = R_{32}$  — равны сопротивлению ветви, общей для указанных в индексе контуров. Эти коэффициенты берутся со знаком «–», если направления контурных токов в схеме приняты одинаково, т. е. либо все по ходу часовой стрелки, либо все против ее хода (например,  $R_{12} = R_{21} = -R_2$ , т. е. эти коэффициенты равны сопротивлению ветви, общей для первого и второго контуров со знаком «–»).

Определим элементы  $E_{11}, E_{22}, E_{33}$ , соответствующие правым частям системы уравнений (5), их значения равны алгебраической сумме ЭДС рассматриваемого контура; ЭДС, которые совпадают по направлению с контурным током, берутся со знаком «+», иначе — со знаком «–» (например,  $E_{11} = E_1 - E_2$ ;  $E_{22} = E_3 + E_2 + U_{ab}$ ).

5. Подставим найденные в п. 4 числовые значения коэффициентов в систему уравнений (5) и решим ее. Получим контурные токи  $I_{11}, I_{22}, I_{33}$ .

6. Используя значения контурных токов, полученные в п. 5, вычислим реальные токи  $I_1, I_2, \dots, I_6$  во всех ветвях исходной схемы (см. рис. 2). Реальный ток в ветви равен алгебраической сумме контурных токов, проходящих через рассматриваемую ветвь. Контурные токи, совпадающие с реальным током в ветви, берутся со знаком «+» (например,  $I_1 = I_{11}$ ;  $I_2 = -I_{11} + I_{22}$ ).

## 2.4. Расчет токов в цепи методом межузлового напряжения

Схему электрической цепи, изображенную на рис. 1, первоначально следует упростить, заменить эквивалентной, после чего объем вычислений существенно сократится.

В схеме электрической цепи, показанной на рис. 1, имеется пассивный треугольник с резисторами  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ , который можно заменить эквивалентной звездой с резисторами  $R_{17}$ ,  $R_{27}$ ,  $R_{37}$  (рис. 3), значения сопротивлений вычисляют по формулам

$$R_{17} = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5 + R_6}; \quad R_{27} = \frac{R_5 R_6}{R_4 + R_5 + R_6}; \quad R_{37} = \frac{R_4 R_6}{R_4 + R_5 + R_6}.$$

Полученная эквивалентная схема (рис. 3) имеет два узла (4 и 7). Для расчета схемы воспользуемся методом межузлового напряжения. В этом случае не надо составлять систему уравнений.

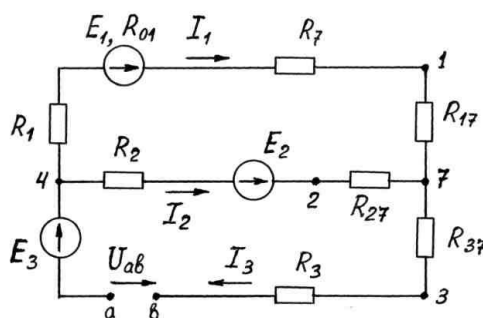


Рис. 3

Вычислим напряжение между узлами 7 и 4 эквивалентной схемы (см. рис. 3):

$$U_{74} = \frac{E_1 G_1 + E_2 G_2 - (E_3 + U_{ab}) G_3}{G_1 + G_2 + G_3},$$

где

$$G_1 = \frac{1}{R_1 + R_{01} + R_7 + R_{17}}; \quad G_2 = \frac{1}{R_2 + R_{27}}; \quad G_3 = \frac{1}{R_3 + R_{37}}$$

— проводимости ветвей.

В этом выражении  $E_k$  берется со знаком «+», если оно направлено к первому узлу (узлу 7). Для напряжения  $U_{ab}$  наоборот, если  $U_{ab}$  направлено к первому узлу (узлу 7), то оно берется со знаком «-», а если ко второму (узлу 4) — со знаком «+».

Далее, зная напряжение  $U_{74}$  между узлами 7 и 4, по закону Ома для активного участка цепи определим токи  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  в ветвях преобразованной схемы (см. рис. 3):

$$I_1 = \frac{-U_{74} + E_1}{R_1 + R_{01} + R_7 + R_{17}}; \quad I_2 = \frac{-U_{74} + E_2}{R_2 + R_{27}}; \quad I_3 = \frac{U_{74} + E_3 + U_{ab}}{R_3 + R_{37}}.$$

В этом выражении напряжение  $U_{74}$ , приложенное к рассматриваемой ветви, и ЭДС берутся со знаком «+», если их направления совпадают с направлением тока в этой ветви. Токи  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  одинаковые в преобразованной (см. рис. 3) и в исходной (см. рис. 1) схемах.

После определения токов  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  вернемся к исходной схеме электрической цепи (см. рис. 1). Чтобы определить токи  $I_4$ ,  $I_5$ ,  $I_6$ , воспользуемся первым уравнением системы (4) и первым и вторым уравнениями системы (1).

## 2.5. Расчет токов в цепи методом эквивалентного генератора

Метод эквивалентного генератора применяют, когда требуется определить ток или напряжение в одной ветви сложной электрической цепи.

В основе метода лежит теорема об эквивалентном генераторе, утверждающая, что любую линейную электрическую цепь, внутри которой действуют некоторые ЭДС, можно рассматривать относительно выделенной из нее ветви как генератор, ЭДС которого  $E_g$  равна напряжению на зажимах цепи при отключенной от них указанной ветви, а внутреннее сопротивление  $R_g$  — входному сопротивлению цепи со стороны этих зажимов, определяемому при условии, что источники ЭДС удалены и заменены их внутренними сопротивлениями. Заменяя эту сложную электрическую цепь эквивалентной, состоящей только из приемника (нагрузки) и эквивалентного генератора (источника ЭДС  $E_g = U_{xx}$  с его внутренним

сопротивлением  $R_3 = R_{\text{вх}}$ ), задачу определения токов сводят к закону Ома при сохранении приемника как отдельного элемента эквивалентной цепи (рис. 4). Это позволяет определить ток в ветви с резистором  $R$  по формуле

$$I = \frac{E_3}{R_3 + R} = \frac{U_{\text{х.х}}}{R_{\text{вх}} + R}. \quad (6)$$

Пусть требуется определить ток  $I_6$  в ветви с сопротивлением  $R_6$  (см. рис. 1) методом эквивалентного генератора:

$$I_6 = \frac{E_3}{R_3 + R_6} = \frac{U_{\text{х.х}23}}{R_{\text{вх}23} + R_6}.$$

Отключим в исходной схеме (см. рис. 1) ветвь с сопротивлением  $R_6$  от узлов 2 и 3 и определим напряжение холостого хода  $U_{\text{х.х}23}$  (рис. 5).

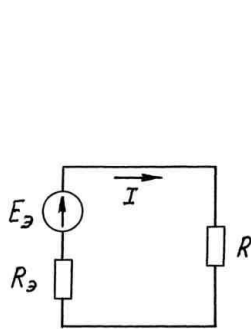


Рис. 4

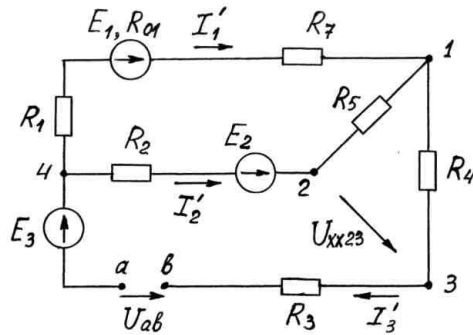


Рис. 5

Запишем уравнение для контура с узлами 2—3—1—2 по второму закону Кирхгофа:

$$U_{\text{х.х}23} - I'_3 R_4 - I'_2 R_5 = 0.$$

Отсюда

$$U_{\text{х.х}23} = I'_3 R_4 + I'_2 R_5.$$

Для определения токов  $I'_2$  и  $I'_3$  рассчитаем полученную схему (см. рис. 5). В ней два узла: 1 и 4. Используем метод межузлевого напряжения:

$$U_{14} = \frac{E_1/(R_1 + R_{01} + R_7) + E_2/(R_2 + R_5) - (E_3 + U_{ab})/(R_4 + R_3)}{1/(R_1 + R_{01} + R_7) + 1/(R_2 + R_5) + 1/(R_4 + R_3)}.$$

Вычислим токи:

$$I'_2 = \frac{-U_{14} + E_2}{R_2 + R_5}; \quad I'_3 = \frac{+U_{14} + E_3 + U_{ab}}{R_3 + R_4}.$$

Определим напряжение холостого хода  $U_{x.x\ 23}$ .

Вычислим входное сопротивление  $R_{вх\ 23}$ .

Удалим из предыдущей схемы (см. рис. 5) все источники ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $U_{ab}$ ), оставив их внутренние сопротивления. Получим схему, изображенную на рис. 6.

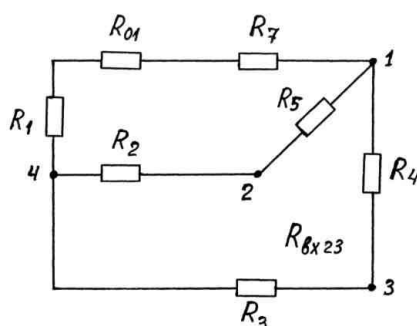


Рис. 6

Проведем эквивалентные преобразования этой схемы и получим схемы, изображенные на рис. 7—9.

При переходе от схемы, приведенной на рис. 7, к схеме, показанной на рис. 8, проведено преобразование треугольника сопротивлений  $R_5$ ,  $R_2$ ,  $R_8$  (здесь  $R_8 = R_1 + R_{01} + R_7$ ) в эквивалентную звезду с сопротивлениями  $R_{n1}$ ,  $R_{n2}$ ,  $R_{n4}$ , которые вычисляются по формулам

$$R_{n1} = \frac{R_5 R_8}{R_2 + R_5 + R_8}; \quad R_{n2} = \frac{R_2 R_5}{R_2 + R_5 + R_8}; \quad R_{n4} = \frac{R_2 R_8}{R_2 + R_5 + R_8}.$$

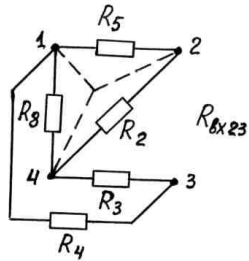


Рис. 7

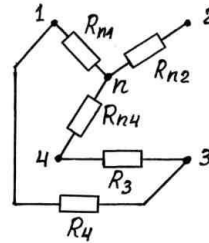


Рис. 8

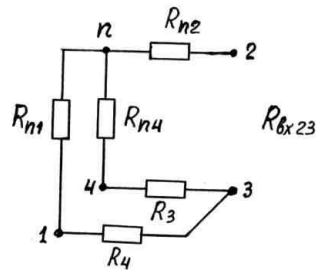


Рис. 9

В соответствии со схемой, приведенной на рис. 9, запишем выражение для входного сопротивления относительно узлов 2 и 3:

$$R_{\text{вх}23} = R_{n2} + \frac{(R_{n1} + R_4)(R_{n4} + R_3)}{R_{n1} + R_4 + R_{n4} + R_3}.$$

Вычислим искомый ток:

$$I_6 = \frac{U_{\text{х.х}23}}{R_{\text{вх}23} + R_6}.$$

## 2.6. Построение потенциальной диаграммы

Распределение потенциалов в электрической цепи можно представить с помощью потенциальной диаграммы.

Потенциальная диаграмма представляет собой зависимость  $\varphi(R)$ .

Рассмотрим в качестве примера расчет и построение потенциальной диаграммы для внешнего контура электрической цепи, схема которой приведена на рис. 1.

Соответствующая диаграмма приведена на рис. 10. По вертикальной оси отложены значения потенциалов последовательного ряда точек выбранного контура (1, 3,  $b$ ,  $a$ , 4,  $c$ , 5, 1), а по горизонтальной оси — сумма значений сопротивлений последовательно проходимых участков цепи этого контура.

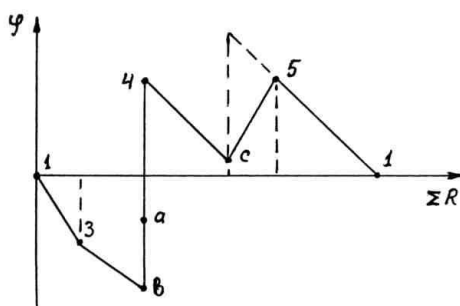


Рис. 10

Построение потенциальной диаграммы (см. рис. 10) начинается с произвольно выбранной точки контура, например с точки 1, потенциал которой принят равным нулю:  $\varphi_1 = 0$ . Последовательно обходим выбранный контур. Если построение диаграммы начали в точке 1, то и закончить его надо в этой же точке 1. Скачки потенциала на графике соответствуют включенным в цепь источникам напряжения  $E_1$ ,  $E_3$ ,  $U_{ab}$ .

Потенциал точки 3 контура меньше потенциала точки 1 на значение падения напряжения на сопротивлении  $R_4$ :

$$\varphi_3 = \varphi_1 - I_4 R_4.$$

При построении потенциальной диаграммы нужно по горизонтальной оси отложить от начала координат (точка 1) в масштабе значение сопротивления  $R_4$ , а по вертикальной оси — значение потенциала  $\varphi_3$  в вольтах. На графике соединим потенциалы точки 1 и точки 3 прямой линией.

Потенциал точки  $b$  меньше потенциала точки 3 на значение падения напряжения на сопротивлении  $R_3$ :



$$\varphi_b = \varphi_3 - I_3 R_3.$$

При построении диаграммы нужно по горизонтальной оси отложить от начала координат (точка 1) в масштабе значение суммы сопротивлений ( $R_4 + R_3$ ), а по вертикальной оси — значение потенциала  $\varphi_b$  в вольтах. На графике соединим потенциалы точки 3 и точки  $b$  прямой линией.

В соответствии со схемой, приведенной на рис. 1, потенциал точки  $a$  будет больше потенциала точки  $b$  на значение  $U_{ab}$ :

$$\varphi_a = \varphi_b + U_{ab}.$$

Сопротивление участка  $ab$  не задано, примем  $R_{ab} = 0$ , что соответствует идеальному источнику напряжения. На диаграмме получим скачок потенциала вертикально вверх на значение  $U_{ab}$ .

Двигаемся по контуру дальше от точки  $a$  к точке 4. На этом участке имеем еще один идеальный источник напряжения ( $E_3$ ) с внутренним сопротивлением, равным нулю. На потенциальной диаграмме (см. рис. 10) этому соответствует изменение потенциала скачком вверх от точки  $a$  до точки 4:

$$\varphi_4 = \varphi_a + E_3.$$

Рассмотрим участок  $4c$ . Направление тока  $I_1$  совпадает с направлением обхода контура. Потенциал точки  $c$  будет меньше потенциала точки 4 на значение падения напряжения на сопротивлении  $R_1$ :

$$\varphi_c = \varphi_4 - I_1 R_1.$$

На графике (см. рис. 10) по горизонтальной оси отложим от начала координат значение суммарного сопротивления всех уже рассмотренных участков контура. Оно равно  $R_4 + R_3 + R_1$ . При этом значении сопротивления отложим по вертикальной оси значение потенциала точки  $c$  ( $\varphi_c$ ). Полученную точку на графике соединим прямой линией с точкой 4.

На участке  $c5$  находится реальный источник напряжения  $E_1$  с внутренним сопротивлением  $R_{01}$ . Направление источника  $E_1$  совпадает с направлением обхода контура и дает увеличение потенциала на значение  $E_1$ . Наличие внутреннего сопротивления  $R_{01}$  снижает значение потенциала. В итоге получим

$$\varphi_5 = \varphi_c + E_1 - I_1 R_{01}.$$

На графике (см. рис. 10) по горизонтальной оси добавим значение сопротивления  $R_{01}$  и по вертикальной оси отложим значение  $\varphi_5$ . Полученную точку на графике (точка 5) соединим прямой линией с точкой  $c$ .

Построим участок между точками 5 и 1. На этом участке находится сопротивление  $R_7$ . Рассчитаем потенциал точки 1:

$$\varphi_1 = \varphi_5 - I_1 R_7.$$

При правильном расчете должны получить  $\varphi_1 = 0$ , как было принято в начале построения диаграммы. На графике соединим прямой линией точки 5 и 1.

Вид полной потенциальной диаграммы соответствует графику, представленному на рис. 10. При построении реальной потенциальной диаграммы на вертикальной и горизонтальной осях должны быть указаны шкалы в числах. При этом шкала должна быть равномерной, начинаться от нуля, не иметь разрывов. Шаг шкалы желательно выбирать равным либо 1, либо 2, либо 5, умноженным на  $10^n$ .

## 2.7. Определение показаний вольтметра

Вольтметр измеряет напряжение (разность потенциалов) между двумя точками в электрической цепи (точки 5 и 6 на рис. 1).

Для определения показаний вольтметра необходимо составить уравнение по второму закону Кирхгофа по контуру, в который входит измеряемое напряжение  $U_{56}$ . Выберем, например, замкнутый контур с точками 4—5—6—4. Ему соответствует уравнение

$$U_{56} - I_2 R_2 + I_1 R_1 + I_1 R_{01} = E_1,$$

откуда

$$U_{56} = E_1 + I_2 R_2 - I_1 R_1 - I_1 R_{01}.$$

Подставим в последнее уравнение числовые значения. Показание вольтметра (магнитоэлектрической системы) будет равно напряжению  $U_{56}$  с учетом его знака.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для схемы, представленной на рис. 1, составить полную систему уравнений по законам Кирхгофа. Дать пояснения.
2. Для схемы, представленной на рис. 1, объяснить порядок расчета токов методом контурных токов. Дать пояснения.
3. Для схемы, представленной на рис. 2, объяснить порядок расчета тока  $I_1$ , используя метод межузлового напряжения. Дать пояснения.
4. Для схемы, представленной на рис. 1, объяснить порядок расчета тока  $I_1$ , используя метод эквивалентного генератора. Дать пояснения.
5. Для схемы, представленной на рис. 1, составить в общем виде уравнение баланса мощностей. Дать пояснения.
6. Объяснить порядок расчета и построения потенциальной диаграммы на примере схемы, представленной на рис. 1.

ПРИЛОЖЕНИЕ П1.1

ТАБЛИЦА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Номер вари- анта	Но- мер ри- сунка	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$R_{01}$	$R_{02}$	$R_{03}$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
1	П1.1	48	12	6	0,8	1,4	—	4,2	4	2	12	6	2
2	П1.2	12	36	12	—	0,4	1,2	3,5	5	1	5	6	9
3	П1.3	55	18	4	0,8	—	0,8	8	4	3	2	4	4
4	П1.4	36	10	25	0,4	—	0,5	4	8	3	1	2	7
5	П1.5	12	6	40	1,2	0,6	—	2,0	3	8	5	7	8
6	П1.6	8	6	36	1,3	—	1,2	3,0	2	1	6	8	6
7	П1.7	15	63	6	1,0	—	1,2	5,0	3	1	2	12	3
8	П1.8	54	27	3	1,2	0,9	—	8,0	3	1	4	2	2
9	П1.9	12	6	40	1,2	0,6	—	2,0	3	8	5	7	8
10	П1.10	8	6	36	—	1,3	1,2	3,0	2	1	6	8	6
11	П1.11	4	24	6	0,9	—	0,5	9	8	1	6	10	4
12	П1.12	16	8	9	0,2	0,6	—	2,5	6	6	5	10	5
13	П1.13	21	4	10	—	0,2	0,6	5	7	2	8	1	1
14	П1.14	4	9	18	0,8	—	0,7	2,7	10	4	8	10	2
15	П1.15	4	24	6	0,9	—	0,5	9,0	8	1	6	10	4
16	П1.16	16	8	9	0,2	0,6	—	2,5	6	6	5	10	5
17	П1.17	40	25	8	—	0,2	0,2	3,0	3	2	4	3	2
18	П1.18	8	40	10	0,8	1,0	—	5,0	3	3	3	2	1
19	П1.19	72	18	9	0,8	1,4	—	4,2	8	6	12	6	2
20	П1.20	12	36	24	—	0,4	1,2	3,5	5	8	5	6	9
21	П1.21	72	12	4	0,7	1,5	—	6,0	1	10	4	12	4
22	П1.22	12	48	16	—	0,4	0,4	2,5	1	4	15	4	2
23	П1.23	22	24	10	0,2	—	1,2	2	1	8	4	10	6
24	П1.24	55	18	24	0,8	—	0,8	8	4	3	2	4	4
25	П1.25	12	30	9	0,5	—	0,5	3,5	2	3	3	1	3
26	П1.26	9	6	27	—	1,0	0,8	4,5	2	8	15	4	3
27	П1.27	36	9	24	—	0,8	0,8	3,0	4	2	1	5	2
28	П1.28	3	66	9	—	0,7	1,2	1,0	4	2	2	7	3
29	П1.29	72	12	24	—	1,5	0,7	6,0	5	10	4	12	4
30	П1.30	12	24	6	0,4	0,4	—	2,5	1	4	10	2	2
31	П1.31	30	12	10	0,5	—	0,5	3,5	2	3	3	1	3
32	П1.32	9	16	27	—	1,0	0,8	4,5	2	8	10	4	3
33	П1.33	10	6	24	0,8	0,3	—	3,5	5	6	6	3	1
34	П1.34	6	20	4	-	0,8	1,2	4	6	4	4	3	3
35	П1.35	14	25	28	0,9	1,2	—	5	2	8	2	2	6

Продолжение таблицы

Номер вари- анта	Но- мер ри- сунка	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$R_{01}$	$R_{02}$	$R_{03}$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
36	П1.36	5	16	30	0,4	—	0,7	6,0	4	3	2	5	3
37	П1.37	21	24	10	—	0,2	0,6	5,0	7	2	8	1	4
38	П1.38	4	9	28	0,8	—	0,7	2,7	10	4	8	10	2
39	П1.39	10	24	6	0,3	—	0,8	3,5	5	6	6	3	1
40	П1.40	20	6	4	—	0,8	1,2	4,0	6	4	4	3	3
41	П1.41	12	30	25	1,0	0,4	—	1,0	5	1	1	6	4
42	П1.42	30	16	10	0,6	0,8	—	2,0	5	3	1	8	5
43	П1.43	16	5	32	—	0,6	0,8	9,0	3	2	4	1	5
44	П1.44	25	14	28	—	1,2	0,9	5,0	2	8	2	2	6
45	П1.45	10	32	10	0,6	—	1,0	1,5	6	1	7	1	5
46	П1.46	5	10	36	0,3	—	0,8	1,2	6	3	2	2	2
47	П1.47	36	25	10	—	0,4	0,5	4,0	8	3	1	2	7
48	П1.48	5	16	30	—	0,6	0,8	9,0	3	2	4	1	5
49	П1.49	20	22	9	0,1	1,1	—	1,0	2	6	3	8	4
50	П1.50	5	30	16	0,4	—	0,7	6,0	4	3	2	5	3
51	П1.24	110	18	4	0,8	—	0,8	16,0	4	3	4	4	4
52	П1.25	14	30	9	0,5	—	0,5	7,0	2	3	6	1	3
53	П1.26	18	6	27	—	1,0	0,8	9,0	2	8	16	4	3
54	П1.27	72	9	24	—	0,8	0,8	6,0	4	2	2	5	1
55	П1.28	6	60	9	—	0,7	1,2	2,0	4	2	4	7	3
56	П1.29	44	12	4	—	1,5	0,7	12,0	1	10	8	12	4
57	П1.30	24	48	6	0,4	0,4	—	5,0	1	4	10	2	2
58	П1.31	24	30	9	0,5	—	0,5	7,0	2	3	6	1	3
59	П1.32	18	6	27	—	1,0	0,8	9,0	2	8	10	4	3
60	П1.33	20	6	24	0,8	0,3	—	7,0	5	6	12	3	1
61	П1.34	12	20	4	—	0,8	1,2	8,0	6	4	8	3	3
62	П1.35	28	25	8	0,9	1,2	—	10,0	2	8	4	2	6
63	П1.36	10	16	30	0,4	—	0,7	12,0	4	3	4	5	3
64	П1.37	42	4	10	—	0,2	0,6	10,0	7	2	16	4	10
65	П1.38	8	9	18	0,8	—	0,7	5,4	10	4	16	10	2
66	П1.39	20	6	24	0,8	—	0,3	7,0	5	6	12	3	4
67	П1.40	12	20	40	—	0,8	1,2	8,0	6	4	8	3	3
68	П1.41	24	30	25	1,0	0,4	—	2,0	5	1	2	6	4
69	П1.42	60	16	10	0,6	0,8	—	4,0	5	3	2	8	5
70	П1.43	32	5	20	—	0,6	0,8	18,0	3	2	8	1	5

Окончание таблицы

Номер вари- анта	Номер рисун- ка	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$R_{01}$	$R_{02}$	$R_{03}$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
71	П1.44	28	25	8	—	1,2	0,9	10,0	2	8	4	2	6
72	П1.45	20	32	10	0,6	—	1,0	3,0	6	1	14	3	5
73	П1.46	10	10	36	0,3	—	0,8	2,4	6	3	4	2	2
74	П1.47	72	10	25	—	0,4	0,5	8,0	8	3	2	2	7
75	П1.48	20	5	32	—	0,6	0,8	18,0	3	2	8	1	5
76	П1.49	40	22	9	0,1	1,1	—	2,0	2	6	6	8	4
77	П1.50	10	16	30	0,4	—	0,7	12,0	4	3	4	5	3
78	П1.7	30	60	6	1,0	—	1,2	10,0	3	1	4	12	3
79	П1.8	10	27	3	1,2	0,9	—	16,0	3	1	8	2	2
80	П1.9	24	6	40	1,2	0,6	—	4,0	3	8	10	3	8
81	П1.10	26	6	40	—	1,3	1,2	6,0	2	1	12	8	6
82	П1.11	18	24	6	0,9	—	0,5	18,0	8	1	12	10	4
83	П1.12	8	32	9	0,2	0,6	—	5,0	6	6	10	10	5
84	П1.13	42	14	10	—	0,2	0,6	10,0	7	2	16	10	4
85	П1.14	8	10	18	0,8	—	0,7	5,4	10	4	16	10	2
86	П1.15	18	24	6	0,9	—	0,5	18,0	8	1	12	10	4
87	П1.16	32	8	9	0,2	0,6	—	5,0	6	6	10	4	5
88	П1.17	80	25	18	—	0,2	0,2	6,0	3	2	8	3	2
89	П1.18	16	40	10	0,8	1,0	—	10,0	3	3	6	2	1
90	П1.19	60	12	6	0,8	1,4	—	8,4	4	2	20	6	2
91	П1.20	36	24	12	—	0,4	1,2	7,0	5	1	10	6	9
92	П1.21	44	12	4	0,7	1,5	—	12,0	1	10	8	12	4
93	П1.22	24	48	6	—	0,4	0,4	5,0	1	4	30	20	12
94	П1.23	40	20	10	0,2	—	1,2	4,0	1	8	8	10	3
95	П1.2	24	36	6	—	0,4	1,2	7,0	5	1	10	6	9
96	П1.3	10	18	4	0,8	—	0,8	16,0	4	3	4	4	14
97	П1.4	7	10	25	0,4	—	0,5	8,0	8	3	2	4	7
98	П1.5	20	6	40	1,2	0,6	—	4,0	3	8	10	7	3
99	П1.1	12	40	6	0,8	1,4	—	8,4	4	2	24	6	12
100	П1.6	16	36	6	1,3	—	1,2	6,0	2	1	12	8	6

## Электрические схемы

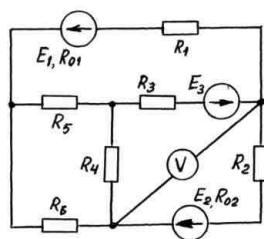


Рис. П1.1

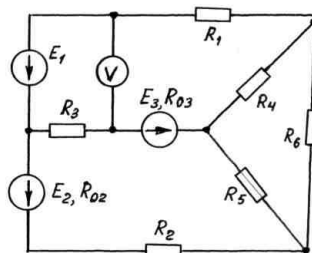


Рис. П1.2

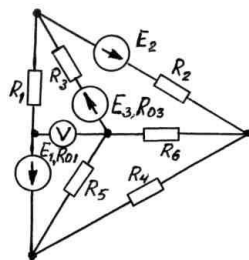


Рис. П1.3

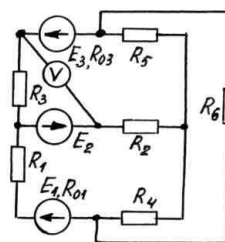


Рис. П1.4

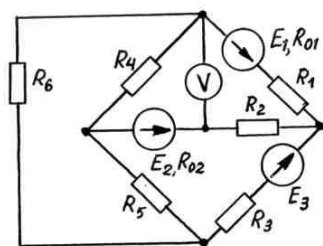


Рис. П1.5

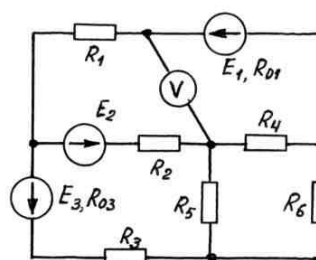


Рис. П1.6

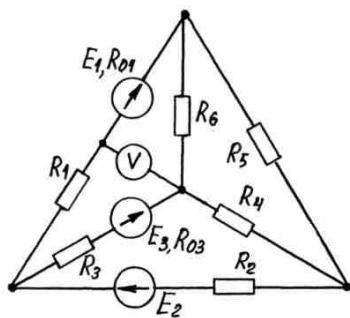


Рис. П1.7

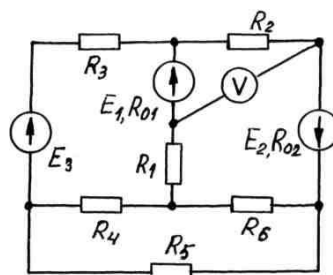


Рис. П1.8

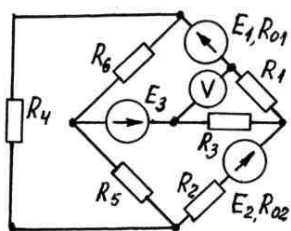


Рис. П1.9

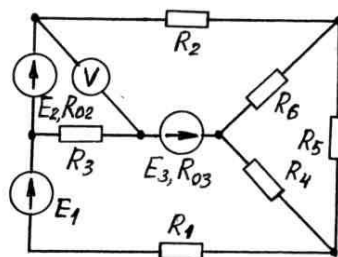


Рис. П1.10

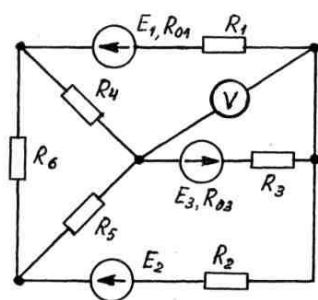


Рис. П1.11

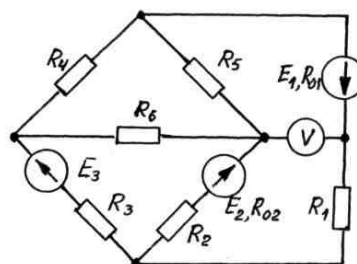


Рис. П1.12



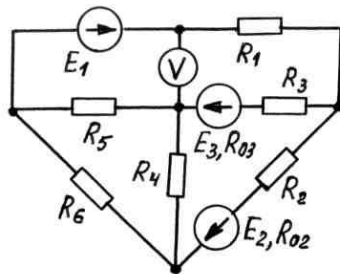


Рис. П1.13

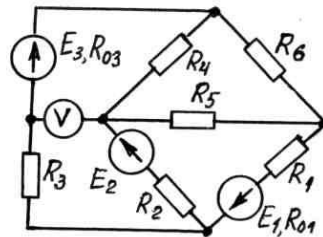


Рис. П1.14

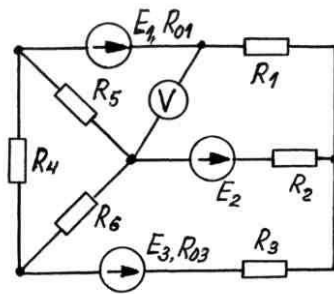


Рис. П1.15

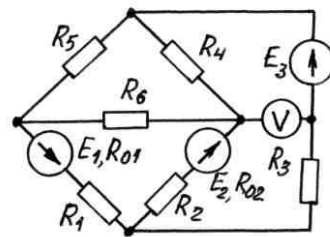


Рис. П1.16

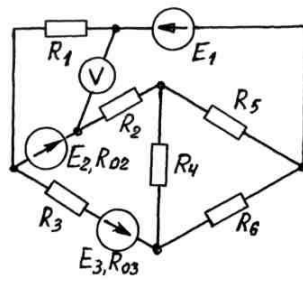


Рис. П1.17

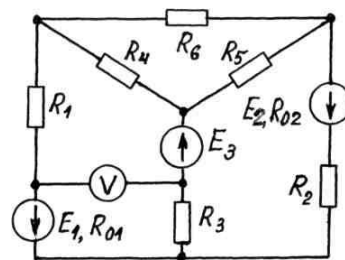


Рис. П1.18

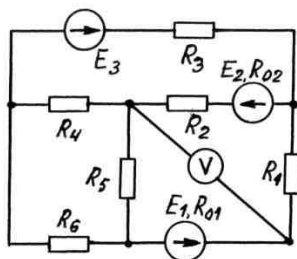


Рис. П1.19

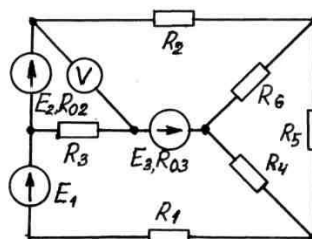


Рис. П1.20

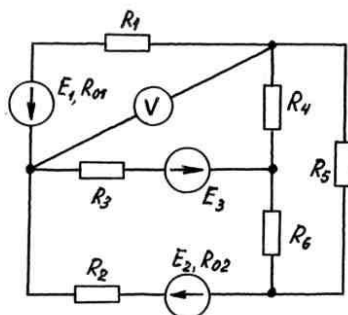


Рис. П1.21

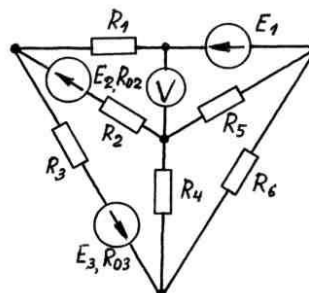


Рис. П1.22

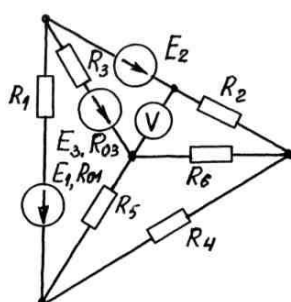


Рис. П1.23

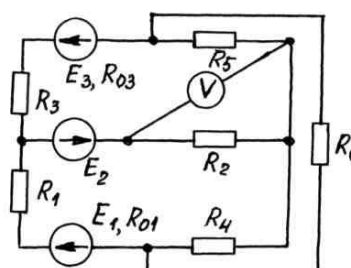


Рис. П1.24

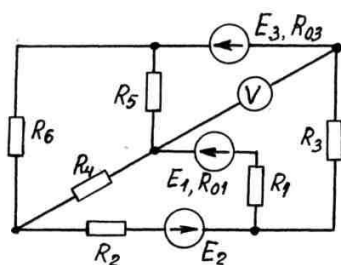


Рис. П1.25

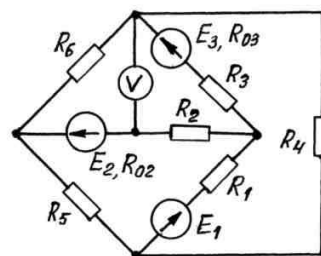


Рис. П1.26

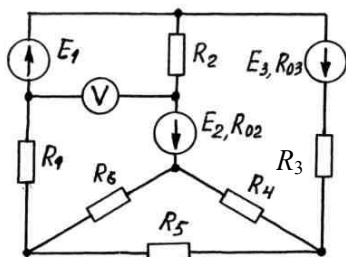


Рис. П1.27

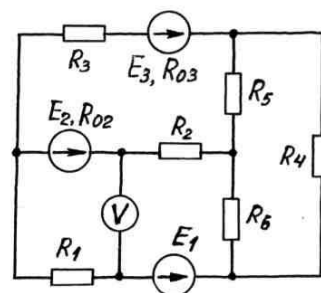


Рис. П1.28

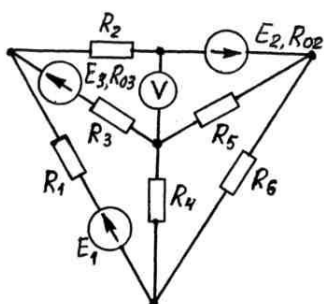


Рис. П1.29

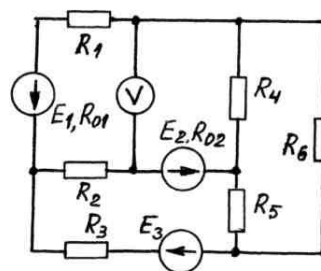


Рис. П1.30

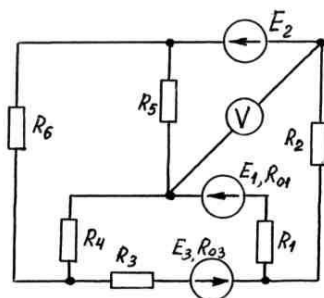


Рис. П1.31

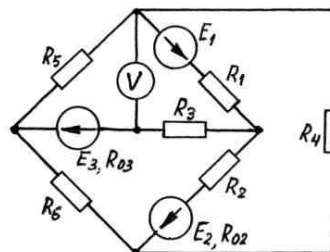


Рис. П1.32

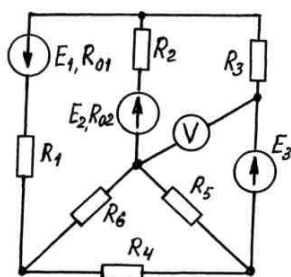


Рис. П1.33

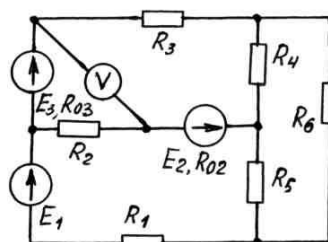


Рис. П1.34

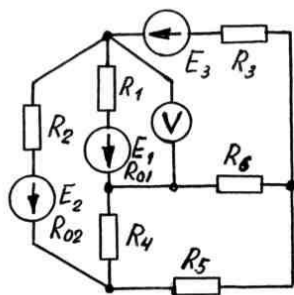


Рис. П1.35

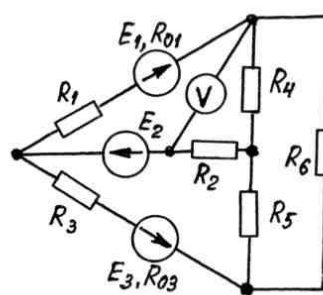


Рис. П1.36

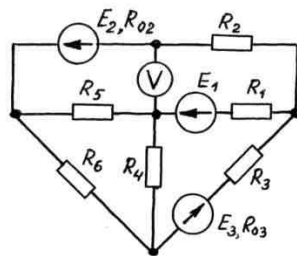


Рис. П1.37

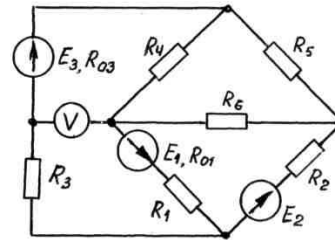


Рис. П1.38

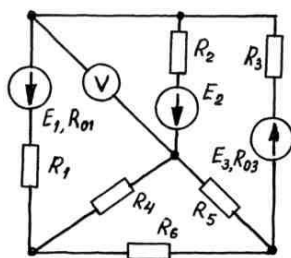


Рис. П1.39

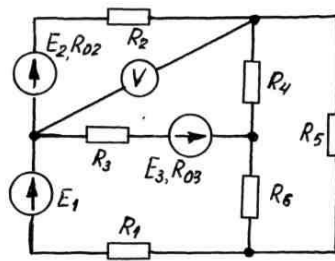


Рис. П1.40

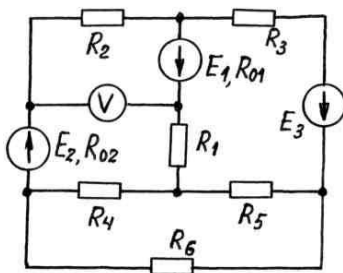


Рис. П1.41

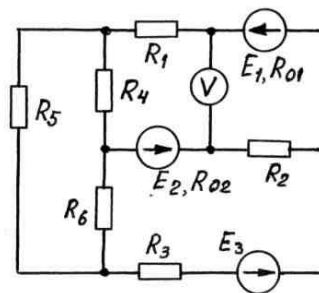


Рис. П1.42

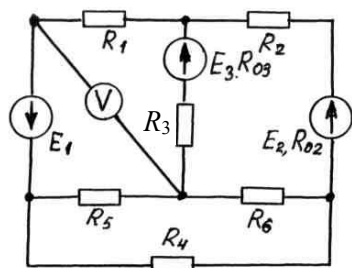


Рис. П1.43

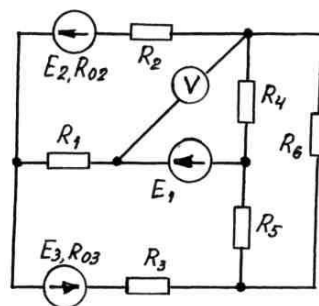


Рис. П1.44

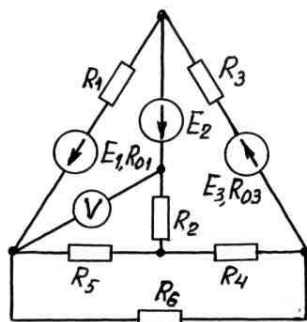


Рис. П1.45

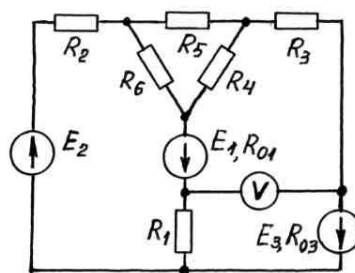


Рис. П1.46

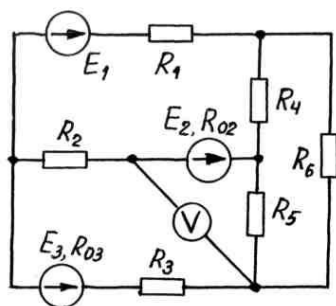


Рис. П1.47

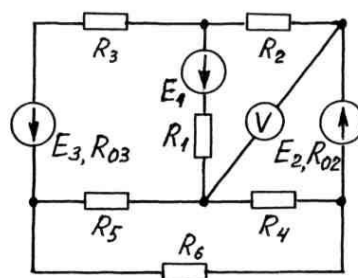


Рис. П1.48

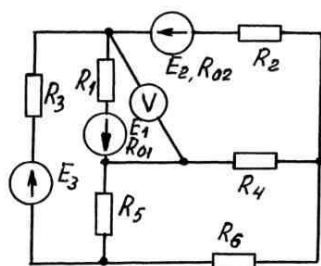


Рис. П1.49

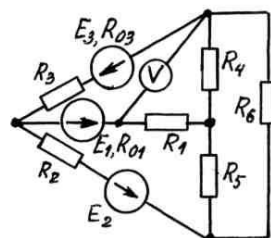


Рис. П1.50

**ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА**

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

Кафедра электротехники и промышленной электроники

Домашнее задание № 1  
по курсу «Электротехника и электроника»  
на тему «Расчет линейных цепей постоянного тока»

Вариант № 10

Выполнил: студент Б.В. Иванов  
группа РК9-51

Проверил: доцент В.И. Волченков

Дата сдачи работы на проверку \_\_\_\_\_

Москва  
2011



## ЛИТЕРАТУРА

*Бессонов Л.А.* Теоретические основы электротехники: в 2 т. / Л.А. Бессонов. М.: Высш. шк., 1978.

*Борисов Ю.М.* Электротехника: учеб. для вузов / Ю.М. Борисов, Д.Н. Липатов, Ю.Н. Зорин. М.: Энергоатомиздат, 1985.

*Волынский Б.А.* Электротехника / Б.А. Волынский, Е.Н. Зейн, В.Е. Шатерников. М.: Энергоатомиздат, 1987.

*Дробышев Г.Ф.* Цепи постоянного тока: метод. указания к выполнению домашнего задания по курсу «Электротехника и промышленная электроника» / Г.Ф. Дробышев. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.

*Липатов Д.Н.* Вопросы и задачи по электротехнике для программированного обучения: учеб. пособие для вузов / Д.Н. Липатов. М.: Энергоатомиздат, 1984.

*Сборник задач по электротехнике и основам электроники* : учеб. пособие для вузов / под ред. В.Г. Герасимова. М.: Высш. шк., 1987.

*Электротехника и электроника*: учеб. для вузов / под ред. В.Г. Герасимова. М.: Энергоатомиздат, 1997.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Содержание, последовательность выполнения и оформление домашнего задания .....	3
2. Краткие теоретические сведения .....	5
2.1. Расчет токов в цепи методом непосредственного использования законов Кирхгофа .....	5
2.2. Составление уравнения баланса мощностей .....	7
2.3. Расчет токов в цепи методом контурных токов .....	8
2.4. Расчет токов в цепи методом межузлового напряжения .....	10
2.5. Расчет токов в цепи методом эквивалентного генератора .....	11
2.6. Построение потенциальной диаграммы .....	14
2.7. Определение показаний вольтметра .....	17
Контрольные вопросы .....	18
Приложение П1.1 .....	19
Приложение П1.2 .....	31
Литература .....	32