

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Э. БАУМАНА

Волченсков В.И.

Методические указания  
к выполнению домашнего задания № 1  
по курсу «Электротехника и электроника»  
по теме «Расчет линейных цепей постоянного тока»

Москва  
Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана  
2010

## Оглавление.

	стр.
Введение.....	3
1. Содержание домашнего задания. Выбор исходных данных.....	3
2. Методические указания.....	5
2.1. Расчет токов в цепи при непосредственном использовании законов Кирхгофа.....	5
2.2. Составление уравнения баланса мощностей.....	6
2.3. Расчет токов в цепи методом контурных токов.....	7
2.4. Расчет токов в цепи методом межузлового напряжения.....	8
2.5. Расчет тока в цепи методом эквивалентного генератора.....	10
2.6. Построение потенциальной диаграммы.....	13
3. Контрольные вопросы.....	16
4. Список рекомендуемой литературы .....	17
Приложение 1. Таблица исходных данных.....	18
Приложение 2. Образец титульного листа.....	30

## Введение.

Целью данной работы являются - изучение методов анализа электрических цепей с применением законов Ома и Кирхгофа, определение неизвестных токов и напряжений в заданных электрических цепях разными методами.

### **1. Содержание домашнего задания. Выбор исходных данных**

1.1. В соответствии с номером варианта домашнего задания, нарисовать заданную схему и выписать исходные числовые данные из таблицы, приведенной в приложении 1.

1.2. Для заданной схемы составить систему уравнений по законам Кирхгофа, подставить в нее числовые значения, соответствующие рассматриваемому варианту задания, и, используя компьютер, определить все токи в ветвях схемы.

1.3. Записать уравнение баланса мощностей для исходной схемы, Подставить известные числовые значения и оценить относительную погрешность расчета.

1.4. Для исходной схемы составить систему уравнений по методу контурных токов, подставить числовые значения и, используя компьютер, определить все токи в ветвях исходной схемы.

1.5. Преобразовать исходную электрическую цепь в эквивалентную, заменив пассивный треугольник резисторов  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  эквивалентной звездой. Начертить полученную цепь с эквивалентной звездой и показать на ней токи.

Рассчитать полученную цепь, используя метод узловых потенциалов (метод двух узлов). Определить все токи, соответствующие первоначальной схеме.

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

1.7. Определить показание вольтметра, указанного в исходной схеме.

1.8. Рассчитать и построить потенциальную диаграмму для внешнего контура исходной схемы.

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

### Порядок выполнения расчетно-графической работы.

1. Вариант задания выбирается студентом из таблицы, приведенной в приложении. Номер варианта соответствует номеру, под которым студент записан в журнале старосты группы.
2. Расчетно-графическая работа выполняется на листах А4 и, желательно, с использованием компьютера. Образец оформления

- титульного листа приведен в приложении 2.
3. Перед выполнением очередного пункта задания необходимо написать заголовок и пояснить, что Вы собираетесь делать дальше. При выполнении вычислений следует: привести расчетную формулу, подставить числовые значения всех величин, входящих в формулу, затем - ответ с указанием единиц измерения в системе СИ.
  4. Используемые обозначения в формулах и на схемах должны соответствовать ГОСТу.
  5. Работа над ошибками выполняется студентом с новой страницы, не трогая уже проверенного преподавателем материала. Следует написать заголовок «Работа над ошибками» и далее выполнять работу над ошибками, заново приводя исправленные рисунки, формулы и расчеты.
  6. Срок сдачи первого домашнего задания – 8 неделя.
- По указанию преподавателя отдельные пункты задания могут быть опущены.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### 2.1. Расчет токов в цепи при непосредственном использовании законов Кирхгофа.

Непосредственное применение законов Кирхгофа позволяет установить связь неизвестных токов во всех ветвях с заданными источниками ЭДС при известных параметрах цепи в виде системы уравнений, совместное решение которых дает численное значение всех токов. При составлении этих уравнений выполняют определенную последовательность действий.

Рассмотрим в качестве примера электрическую цепь, изображенную на рис. 1. Сначала обозначим на схеме стрелками все токи. Направление их задаем произвольно. Число неизвестных токов в рассматриваемой схеме равно шести. Для определения шести неизвестных необходимо составить по законам Кирхгофа систему из шести уравнений.

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 цепи, равна нулю:

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

Токи, направленные к узлу принимают положительными и записывают со знаком плюс, а от узла – отрицательными.

По первому закону Кирхгофа следует составить ( $y - 1$ ) независимых уравнений, то есть на единицу меньше, чем количество узлов в схеме.

Для любых трех узлов схемы (рис. 1) получим:

$$\text{для узла 1: } I_1 - I_4 - I_5 = 0;$$

$$\text{для узла 2: } I_2 + I_5 - I_6 = 0;$$

$$\text{для узла 3: } I_6 + I_4 - I_3 = 0.$$

(1)

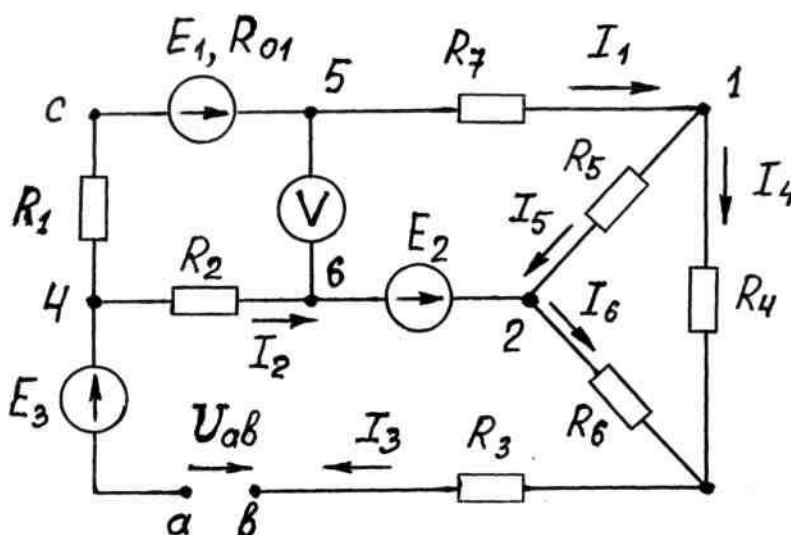


Рис. 1

**Второй закон Кирхгофа** применяют к замкнутым контурам. 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 «плюс» в уравнение (2) входят все  $E_K$  и все произведения  $R_K I_K$ , для которых направления ЭДС и токов (указываемые в схеме стрелками) совпадают с выбранным направлением обхода контура. Формула (2) распространяется и на часть контура, обход по которому обрывается в точке "а" и возобновляется в точке "b". В этом случае в правую часть (2) добавляют напряжение между этими точками  $U_{ab}$

$$\sum E_K = \sum R_K I_K + U_{ab} \quad (3)$$

и при этом учитывают прежнее правило знаков. Для цепи, показанной на рис. 1, имеющей шесть ветвей, можно записать согласно второму закону Кирхгофа  $[b-(y-1)] = 3$  независимых уравнения для трех независимых замкнутых контуров. Пусть ими будут контуры, обозначенные как I, II, III. Выбрав направление обхода во всех контурах, например, по ходу часовой стрелки, получим:

$$\begin{aligned} \text{для верхнего контура:} & \quad R_1 I_1 + R_{01} I_1 + R_5 I_5 - R_2 I_2 = E_1 - E_2 ; \\ \text{для нижнего контура:} & \quad R_2 I_2 + R_6 I_6 + R_3 I_3 - U_{ab} = E_2 + E_3 ; \\ \text{для правого контура:} & \quad - R_5 I_5 + R_4 I_4 - R_6 I_6 = 0 . \end{aligned} \quad (4)$$

Уравнения (1) и (4) составляют полную систему уравнений, составленных по законам Кирхгофа для заданной схемы. Подставив в нее известные числовые значения сопротивлений, ЭДС и напряжения  $U_{ab}$ , необходимо, используя компьютер, определить все токи в схеме.

## 2.2. Составление уравнения баланса мощностей.

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

Согласно закону Джоуля - Ленца, количество теплоты, выделяющейся в единицу времени в резисторах 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

$$\begin{aligned} & P_{\text{ИСТ}} = P_{\text{ПРИЕМ}} \\ \text{или} & \quad \sum \pm EI + \sum \mp U_{ab} I = \sum RI^2 . \end{aligned}$$

Здесь  $P_{\text{ИСТ}}$  - 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  $E \cdot I$  берется со знаком плюс, источник ЭДС отдает энергию в цепь. В противном случае  $E \cdot I$  берется со знаком минус, 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  $U_{ab} \cdot I$  со знаком плюс, если напряжение  $U_{ab}$  и ток  $I$  направлены встречно, и в противном случае, если

напряжение  $U_{ab}$  и ток  $I$ , проходящий через этот источник, совпадают по направлению, произведение  $U_{ab} \cdot I$  берется со знаком минус.

При выполнении реальных расчетов  $P_{ИСТ}$  и  $P_{ПРИЕМ}$  могут несколько отличаться. Для оценки величины несовпадения  $P_{ИСТ}$  и  $P_{ПРИЕМ}$  вычисляют относительную погрешность

$$\delta\% = \frac{P_{ИСТ} - P_{ПРИЕМ}}{P_{ИСТ}} \cdot 100.$$

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, т.к. требуется решать систему с меньшим количеством уравнений, равным числу независимых контуров в схеме.

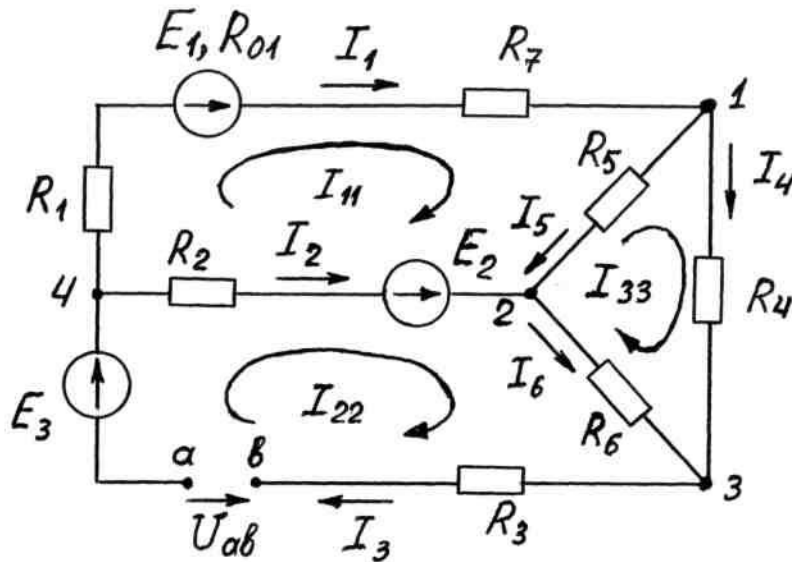


Рис. 2

В рассматриваемом примере (рис. 2) схема имеет три независимых контура и для расчета ее методом контурных токов потребуется решать систему только из трех уравнений.

Рассмотрим последовательность решения задачи методом контурных токов.

1. Задаем стрелками положительные направления токов в ветвях схемы ( $I_1, I_2, \dots, I_6$ ).
2. Задаем стрелками положительные направления контурных токов ( $I_{11}, I_{22}, I_{33}$ ) в независимых контурах схемы (желательно – либо все по часовой стрелке, либо все против.).
3. Записываем в общем виде систему из  $n$  уравнений, где  $n$  – число

контурных токов:

$$I_{11}R_{11} + I_{22}R_{12} + I_{33}R_{13} = E_{11}$$

$$I_{11}R_{21} + I_{22}R_{22} + I_{33}R_{23} = E_{22}$$

$$I_{11}R_{31} + I_{22}R_{32} + I_{33}R_{33} = E_{33} .$$

4. Вычисляем все коэффициенты записанной системы уравнений:

$R_{11}$  ,  $R_{22}$  ,  $R_{33}$  – 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 минус, если направления контурных токов в схеме приняты одинаково - либо все по часовой стрелке, либо все против (например,  $R_{12} = R_{21} = - R_2$  , т. е. равно сопротивлению ветви, общей для первого и второго контуров со знаком минус).

$E_{11}$  ,  $E_{22}$  ,  $E_{33}$  – их значения равны алгебраической сумме ЭДС рассматриваемого контура. ЭДС, которые совпадают по направлению с контурным током, берутся со знаком плюс, иначе – со знаком минус (например,  $E_{11} = E_1 - E_2$ ;  $E_{22} = E_3 + E_2 + U_{ab}$  ).

5. Подставляем найденные числовые значения коэффициентов в систему уравнений и решаем ее. Получаем контурные токи ( $I_{11}$ ,  $I_{22}$ ,  $I_{33}$ ).
6. Используя контурные токи, вычисляем реальные токи во всех ветвях исходной схемы ( $I_1$ ,  $I_2$ , ...,  $I_6$ ).
- Реальный ток в ветви равен алгебраической сумме контурных токов, проходящих через рассматриваемую ветвь. Контурные токи, совпадающие с реальным током в ветви, берутся со знаком плюс (например,  $I_1 = I_{11}$  ;  $I_2 = - I_{11} + I_{22}$  ).

#### 2.4. Расчет токов в цепи методом межузлового напряжения.

Заданную электрическую цепь первоначально следует упростить, заменить эквивалентной, после чего объем вычислений существенно сократится.

В схеме 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), которые вычисляются по формулам:

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



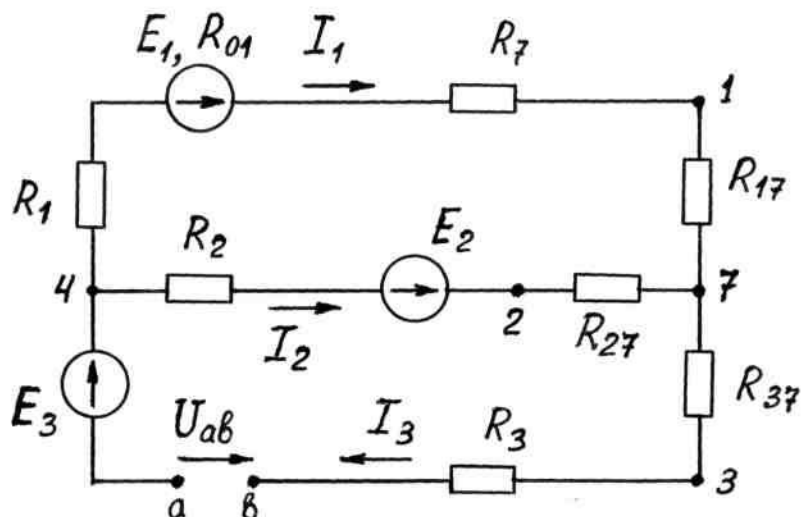


Рис. 3

Полученная эквивалентная схема имеет два узла. Для ее расчета воспользуемся методом межузлового напряжения. В этом случае не надо решать системы уравнений.

Вычисляем напряжение между узлами 7 и 4 рассматриваемой схемы

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

Здесь  $G_1 = \frac{1}{R_1 + R_{01} + R_7 + R_{17}}$ ;  $G_2 = \frac{1}{R_2 + R_{27}}$ ;  $G_3 = \frac{1}{R_3 + R_{37}}$  - проводимости ветвей.

В этом выражении, если  $E_k$  направлено к первому узлу, то оно берется со знаком плюс. Для напряжения ( $U_{ab}$ ) наоборот - если оно направлено к первому узлу, то берется со знаком минус, а если ко второму - со знаком плюс.

Далее, зная напряжение между двумя узлами  $U_{74}$ , по закону Ома для активного участка цепи определяем токи в ветвях преобразованной схемы ( $I_1, I_2, I_3$  - 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, если напряжение  $U_{74}$ , приложенное к рассматриваемой ветви, и ЭДС совпадают с направлением тока в ветви, то берутся со знаком плюс. Эти токи  $I_1, I_2, I_3$  одинаковые в преобразованной и исходной схемах.

Определив токи  $I_1, I_2, I_3$ , вернемся к исходной схеме (рис. 1). Чтобы определить токи  $I_4, I_5, I_6$  воспользуемся первым уравнением из системы (4) и первым и вторым - из (1).

## 2.5. Расчет токов в цепи методом эквивалентного генератора.

Метод эквивалентного генератора применяют, когда требуется определить ток или напряжение в одной ветви сложной цепи. В основе метода лежит теорема об эквивалентном генераторе, утверждающая, что любую линейную электрическую цепь, внутри которой действуют некоторые ЭДС, можно рассматривать относительно данной выделенной из нее ветви как генератор, ЭДС которого  $E_{\mathcal{E}}$  равна напряжению на зажимах цепи при отключенной от них указанной ветви, а внутреннее сопротивление  $R_{\mathcal{E}}$  - 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  $E_{\mathcal{E}}=U_{XX}$  с его внутренним сопротивлением  $R_{\mathcal{E}}=R_{BX}$ ), сводят задачу к закону Ома при сохранении приемника как отдельного элемента эквивалентной цепи (рис. 4). Это позволяет определить ток в ветви с резистором  $R$  по формуле

$$I = \frac{E_{\mathcal{E}}}{R_{\mathcal{E}} + R} = \frac{U_{XX}}{R_{BX} + R} \quad (5)$$

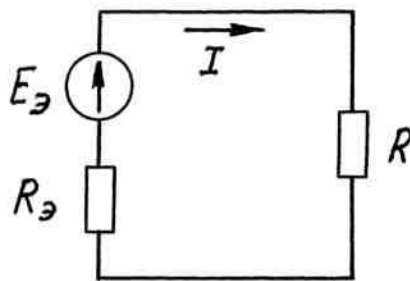


Рис. 4

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

$$I_6 = \frac{E_{\mathcal{E}}}{R_{\mathcal{E}} + R_6} = \frac{U_{XX23}}{R_{BX23} + R_6} .$$

Отключим в исходной схеме ветвь с сопротивлением  $R_6$  от зажимов 2-3 и определим напряжение холостого хода  $U_{XX23}$  (рис. 5).

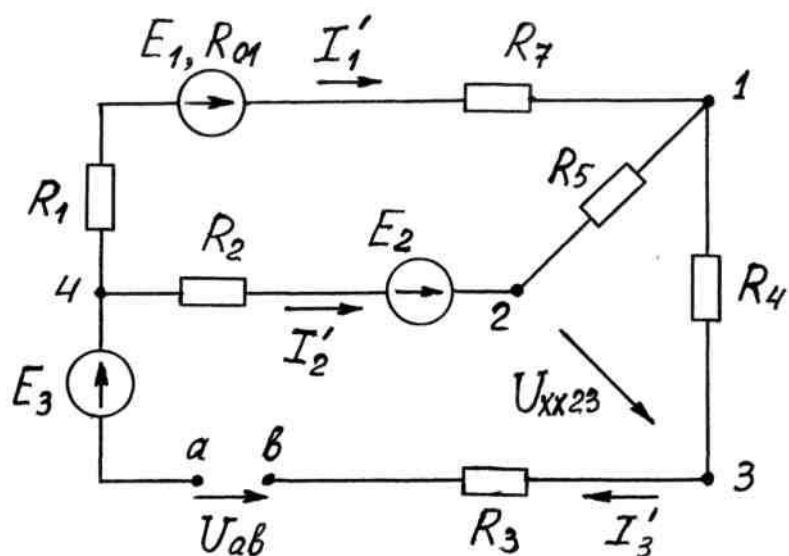


Рис. 5

Запишем уравнение по второму закону Кирхгофа для контура 2-3-1-2 :

$$U_{xx23} - I'_3 R_4 - I'_2 R_5 = 0.$$

Откуда  $U_{xx23} = I'_3 R_4 + I'_2 R_5$ .

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

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

Вычисляем токи:

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

Зная токи, вычисляем  $U_{xx23}$ .

Затем определяем  $R_{вх23}$ .

Из предыдущей схемы (рис. 5) удаляем все источники ( $E_1, E_2, E_3, U_{AB}$ ), оставив их внутренние сопротивления. Получаем схему рис. 6.

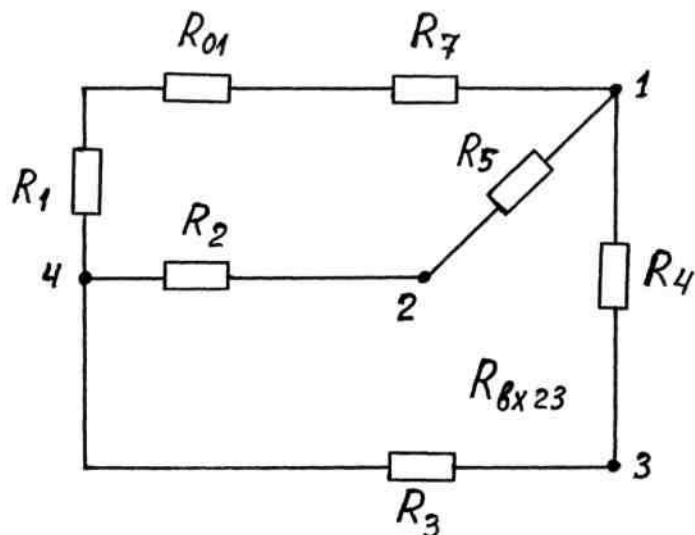


Рис. 6

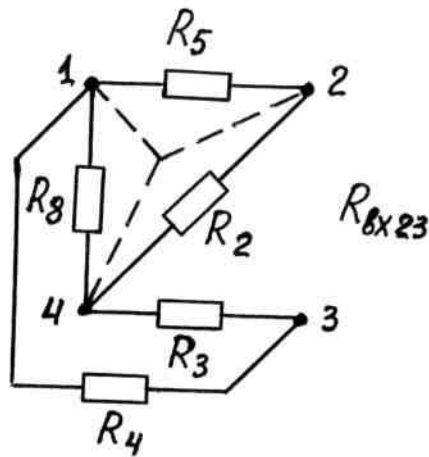


Рис. 7

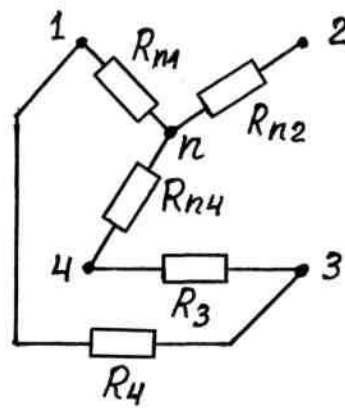


Рис. 8

Проведем эквивалентные преобразования схемы (рис. 7, рис. 8, рис. 9). При переходе от схемы рис.7 к схеме 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:

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

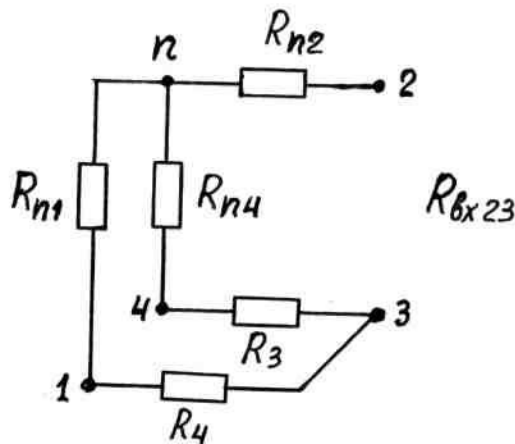


Рис. 9

В соответствии со схемой рис. 9 запишем выражение для входного сопротивления относительно зажимов 2 и 3:

$$R_{вх23} = R_{n2} + \frac{(R_{n1} + R_4)(R_{n4} + R_3)}{R_{n1} + R_4 + R_{n4} + R_3}.$$

Вычисляем искомый ток  $I_6 = \frac{U_{ХХ23}}{R_{ВХ23} + R_6}.$

## 2.6. Построение потенциальной диаграммы.

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

Рассмотрим построение потенциальной диаграммы по внешнему контуру заданной цепи (рис.1). Потенциальная диаграмма представляет собой зависимость  $\varphi(R)$ . На рис. 10 она показана в виде графика, на котором по вертикальной оси отложены значения потенциалов последовательного ряда точек выбранного контура (1, 3, в, а, 4, с, 5, 1), а по горизонтальной – сумма значений сопротивлений последовательно проходимых участков цепи этого контура.

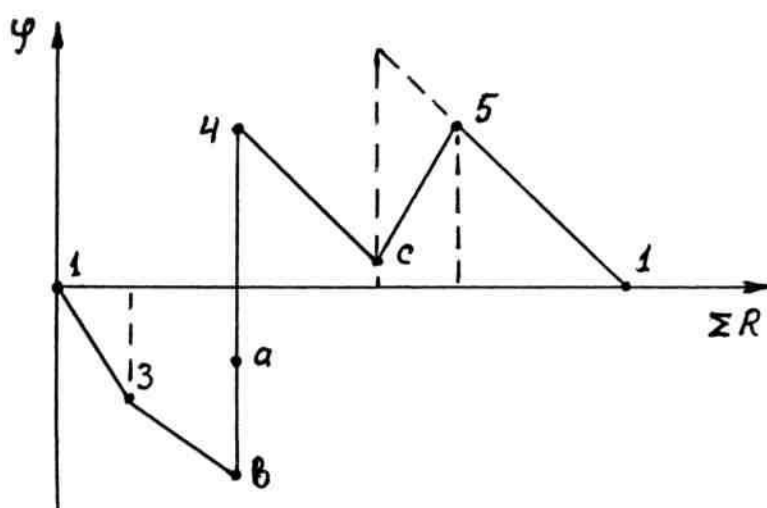


Рис. 10

Построение потенциальной диаграммы (рис. 10) начинается из произвольно выбранной точки контура, например, из точки 1, потенциал которой принят за нулевой  $\varphi_1 = 0$ . Последовательно обходим выбранный

контур. Если построение диаграммы начали в точке 1, то и закончиться она должна в этой же точке 1. Скачки потенциала на графике соответствуют включенным в цепь источникам напряжения  $E_1, E_3, U_{ab}$ .

Рассмотрим в качестве примера расчет и построение потенциальной диаграммы для внешнего контура цепи, схема которой приведена на рис. 1. Принимаем  $\varphi_1 = 0$ .

Потенциал следующей точки 3 контура меньше потенциала точки 1 на величину 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 (точ.1) в масштабе сопротивление  $R_4$ , а по вертикальной оси значение  $\varphi_3$  в вольтах. На графике соединяем потенциалы точки 1 и точки 3 прямой линией.

Потенциал следующей точки "b" меньше потенциала точки 3 на величину 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 (точ.1) в масштабе сумму сопротивлений  $(R_4 + R_3)$ , а по вертикальной оси значение  $\varphi_b$  в вольтах. На графике соединяем потенциалы точки 3 и точки "b" прямой линией.

В соответствии со схемой потенциал точки "a" будет больше потенциала точки "b" на величину  $U_{ab}$

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

Сопротивление участка "a - b" не задано, принимаем его  $R_{ab} = 0$ , что соответствует идеальному источнику напряжения. На диаграмме получаем скачек потенциала вертикально вверх на величину  $U_{ab}$ .

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 (рис.10) этому соответствует изменение потенциала скачком вверх от точки "a" до точки 4.

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

Рассмотрим следующий участок "4 - с". Направление тока  $I_1$  совпадает с направлением обхода контура. Потенциал точки "с" будет меньше потенциала точки 4 на величину падения напряжения на сопротивлении  $R_1$

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

На графике (рис.10) по горизонтальной оси откладываем от начала координат суммарное сопротивление всех уже рассмотренных участков контура. Оно равно  $(R_4+R_3+R_1)$ . При этом значении сопротивления откладываем по вертикальной оси величину потенциала точки "с" ( $\varphi_c$ ). Полученную точку на графике соединяем прямой линией с предыдущей точкой 4.

На следующем участке "с-5" 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 величину  $E_1$ . Наличие внутреннего сопротивления  $R_{01}$  снижает величину потенциала и в итоге получаем

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

На графике (рис.10) по горизонтальной оси добавим значение сопротивления  $R_{01}$  и по вертикали откладываем значение  $\varphi_5$ . Полученную точку на графике (точка 5) соединяем прямой линией с предыдущей точкой "с".

Построим участок между точками 5 и 1. . На этом участке находится сопротивление  $R_7$ . Рассчитываем 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 соединяем 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, быть без разрывов. Шаг шкалы желательно выбирать равным либо 1, либо 2, либо 5, умноженным на  $10^n$ .

### **2.7 Определение показания вольтметра.**

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

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

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

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

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

### **3. 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.

### **4. Список рекомендуемой литературы.**



1. А.С. Касаткин, М.В. Немцов Электротехника : учеб. для вузов М: Издательский центр « Академия» , 2008.- 544с.
2. П.В. Ермуратский ,Г.П. Лычкина, Ю.Б.Минкин. Основы электротехники и электроники.- М.: ДМК Пресс,2011.- 416 с.: ил.
3. Ю.М.Борисов, Д.Н.Липатов, Ю.Н.Зорин. Электротехника.- Санкт-Петербург «БХВ-Петербург», 2012.-587с.
4. Электротехника и электроника в 3-х кн./Под ред. В.Г.Герасимова. М.: Энергоатомиздат, 1986. 1 кн.. -288с.,2 кн.-272с., 3 кн.- 432с.

#### Дополнительная литература

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. В 2-х томах. М.: Высшая школа, 1978. - 528, 231 с.
2. Сборник задач по электротехнике и основам электроники.  
/ Под редакцией В.Г. Герасимова: Учебное пособие для вузов.- М.: Высшая школа, 1987.- 243 с.
3. Липатов Д.Н. Вопросы и задачи по электротехнике для программированного обучения. Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. - 360 с.

## Приложение 1. Таблица исходных данных.

Вариант	Рисунок	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	R <sub>01</sub>	R <sub>02</sub>	R <sub>03</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>
1	П.1	48	12	6	0,8	1,4	–	4,2	4	2	12	6	2
2	П.2	12	36	12	–	0,4	1,2	3,5	5	1	5	6	9
3	П.3	55	18	4	0,8	–	0,8	8	4	3	2	4	4
4	П.4	36	10	25	0,4	–	0,5	4	8	3	1	2	7
5	П.5	12	6	40	1,2	0,6	–	2,0	3	8	5	7	8
6	П.6	8	6	36	1,3	–	1,2	3,0	2	1	6	8	6
7	П.7	15	63	6	1,0	–	1,2	5,0	3	1	2	12	3
8	П.8	54	27	3	1,2	0,9	–	8,0	3	1	4	2	2
9	П.9	12	6	40	1,2	0,6	–	2,0	3	8	5	7	8
10	П.10	8	6	36	–	1,3	1,2	3,0	2	1	6	8	6
11	П.11	4	24	6	0,9	–	0,5	9	8	1	6	10	4
12	П.12	16	8	9	0,2	0,6	–	2,5	6	6	5	10	5
13	П.13	21	4	10	–	0,2	0,6	5	7	2	8	1	1
14	П.14	4	9	18	0,8	–	0,7	2,7	10	4	8	10	2
15	П.15	4	24	6	0,9	–	0,5	9,0	8	1	6	10	4
16	П.16	16	8	9	0,2	0,6	–	2,5	6	6	5	10	5
17	П.17	40	25	8	–	0,2	0,2	3,0	3	2	4	3	2
18	П.18	8	40	10	0,8	1,0	–	5,0	3	3	3	2	1
19	П.19	72	18	9	0,8	1,4	–	4,2	8	6	12	6	2
20	П.20	12	36	24	–	0,4	1,2	3,5	5	8	5	6	9
21	П.21	72	12	4	0,7	1,5	–	6,0	1	10	4	12	4
22	П.22	12	48	16	–	0,4	0,4	2,5	1	4	15	4	2
23	П.23	22	24	10	0,2	–	1,2	2	1	8	4	10	6
24	П.24	55	18	24	0,8	–	0,8	8	4	3	2	4	4
25	П.25	12	30	9	0,5	–	0,5	3,5	2	3	3	1	3
26	П.26	9	6	27	–	1,0	0,8	4,5	2	8	15	4	3
27	П.27	36	9	24	–	0,8	0,8	3,0	4	2	1	5	2
28	П.28	3	66	9	–	0,7	1,2	1,0	4	2	2	7	3
29	П.29	72	12	24	–	1,5	0,7	6,0	5	10	4	12	4
30	П.30	12	24	6	0,4	0,4	–	2,5	1	4	10	2	2
31	П.31	30	12	10	0,5	–	0,5	3,5	2	3	3	1	3
32	П.32	9	16	27	–	1,0	0,8	4,5	2	8	10	4	3
33	П.33	10	6	24	0,8	0,3	–	3,5	5	6	6	3	1
34	П.34	6	20	4	–	0,8	1,2	4	6	4	4	3	3
35	П.35	14	25	28	0,9	1,2	–	5	2	8	2	2	6

Продолжение таблицы исходных данных.

Вариант	Рисунок	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	R <sub>01</sub>	R <sub>02</sub>	R <sub>03</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>
36	П.36	5	16	30	0,4	–	0,7	6	4	3	2	5	3
37	П.37	21	24	10	–	0,2	0,6	5	7	2	8	1	4
38	П.38	4	9	28	0,8	–	0,7	2,7	10	4	8	10	2
39	П.39	10	24	6	–	0,3	0,8	3,5	5	6	6	3	1
40	П.40	20	6	4	–	0,8	1,2	4	6	4	4	3	3
41	П.41	12	30	25	1,0	0,4	–	1,0	5	1	1	6	4
42	П.42	30	16	10	0,6	0,8	–	2,0	5	3	1	8	5
43	П.43	16	5	32	–	0,6	0,8	9	3	2	4	1	5
44	П.44	25	14	28	–	1,2	0,9	5	2	8	2	2	6
45	П.45	10	32	10	0,6	–	1,0	1,5	6	1	7	1	5
46	П.46	5	10	36	0,3	–	0,8	1,2	6	3	2	2	2
47	П.47	36	25	10	–	0,4	0,5	4	8	3	1	2	7
48	П.48	5	16	30	–	0,6	0,8	9	3	2	4	1	5
49	П.49	20	22	9	0,1	1,1	–	1	2	6	3	8	4
50	П.50	5	30	16	0,4	–	0,7	6	4	3	2	5	3
51	П.24	110	18	4	0,8	–	0,8	16	4	3	4	4	4
52	П.25	14	30	9	0,5	–	0,5	7	2	3	6	1	3
53	П.26	18	6	27	–	1,0	0,8	9	2	8	16	4	3
54	П.27	72	9	24	–	0,8	0,8	6,0	4	2	2	5	1
55	П.28	6	60	9	–	0,7	1,2	2,0	4	2	4	7	3
56	П.29	44	12	4	–	1,5	0,7	12,0	1	10	8	12	4
57	П.30	24	48	6	0,4	0,4	–	5,0	1	4	10	2	2
58	П.31	24	30	9	0,5	–	0,5	7,0	2	3	6	1	3
59	П.32	18	6	27	–	1,0	0,8	9,0	2	8	10	4	3
60	П.33	20	6	24	0,8	0,3	–	7,0	5	6	12	3	1
61	П.34	12	20	4	–	0,8	1,2	8	6	4	8	3	3
62	П.35	28	25	8	0,9	1,2	–	10	2	8	4	2	6
63	П.36	10	16	30	0,4	–	0,7	12	4	3	4	5	3
64	П.37	42	4	10	–	0,2	0,6	10	7	2	16	4	10
65	П.38	8	9	18	0,8	–	0,7	5,4	10	4	16	10	2
66	П.39	20	6	24	0,8	–	0,3	7,0	5	6	12	3	4
67	П.40	12	20	40	–	0,8	1,2	8	6	4	8	3	3
68	П.41	24	30	25	1,0	0,4	–	2,0	5	1	2	6	4
69	П.42	60	16	10	0,6	0,8	–	4,0	5	3	2	8	5
70	П.43	32	5	20	–	0,6	0,8	18	3	2	8	1	5

Продолжение таблицы исходных данных.

Вариант	Рисунок	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	R <sub>01</sub>	R <sub>02</sub>	R <sub>03</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>
71	П.44	28	25	8	-	1,2	0,9	10	2	8	4	2	6
72	П.45	20	32	10	0,6	-	1,0	3,0	6	1	14	3	5
73	П.46	10	10	36	0,3	-	0,8	2,4	6	3	4	2	2
74	П.47	72	10	25	-	0,4	0,5	8	8	3	2	2	7
75	П.48	20	5	32	-	0,6	0,8	18	3	2	8	1	5
76	П.49	40	22	9	0,1	1,1	-	2	2	6	6	8	4
77	П.50	10	16	30	0,4	-	0,7	12	4	3	4	5	3
78	П.7	30	60	6	1,0	-	1,2	10,0	3	1	4	12	3
79	П.8	10	27	3	1,2	0,9	-	16,0	3	1	8	2	2
80	П.9	24	6	40	1,2	0,6	-	4,0	3	8	10	3	8
81	П.10	26	6	40	-	1,3	1,2	6,0	2	1	12	8	6
82	П.11	18	24	6	0,9	-	0,5	18	8	1	12	10	4
83	П.12	8	32	9	0,2	0,6	-	5,0	6	6	10	10	5
84	П.13	42	14	10	-	0,2	0,6	10	7	2	16	10	4
85	П.14	8	10	18	0,8	-	0,7	5,4	10	4	16	10	2
86	П.15	18	24	6	0,9	-	0,5	18,0	8	1	12	10	4
87	П.16	32	8	9	0,2	0,6	-	5,0	6	6	10	4	5
88	П.17	80	25	18	-	0,2	0,2	6,0	3	2	8	3	2
89	П.18	16	40	10	0,8	1,0	-	10,0	3	3	6	2	1
90	П.19	60	12	6	0,8	1,4	-	8,4	4	2	20	6	2
91	П.20	36	24	12	-	0,4	1,2	7,0	5	1	10	6	9
92	П.21	44	12	4	0,7	1,5	-	12,0	1	10	8	12	4
93	П.22	24	48	6	-	0,4	0,4	5,0	1	4	30	20	12
94	П.23	40	20	10	0,2	-	1,2	4	1	8	8	10	3
95	П.2	24	36	6	-	0,4	1,2	7,0	5	1	10	6	9
96	П.3	10	18	4	0,8	-	0,8	16	4	3	4	4	14
97	П.4	7	10	25	0,4	-	0,5	8	8	3	2	4	7
98	П.5	20	6	40	1,2	0,6	-	4,0	3	8	10	7	3
99	П.1	12	40	6	0,8	1,4	-	8,4	4	2	24	6	12
100	П.6	16	36	6	1,3	-	1,2	6,0	2	1	12	8	6

## Электрические схемы

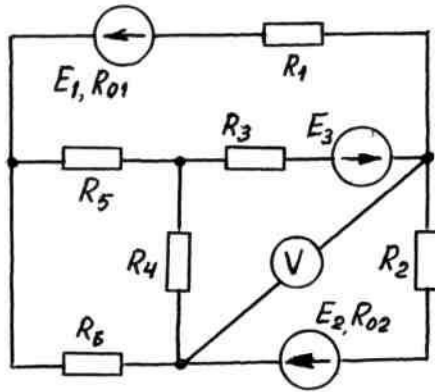


Рис. П.1

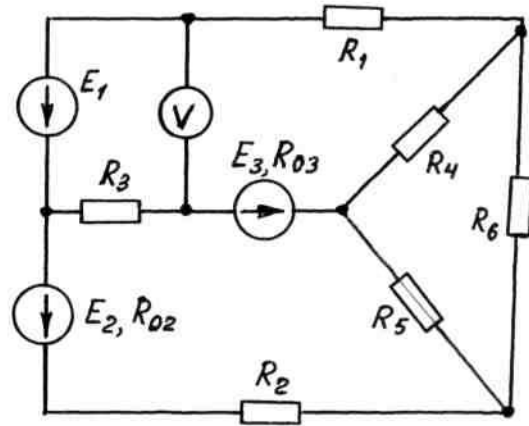


Рис. П.2

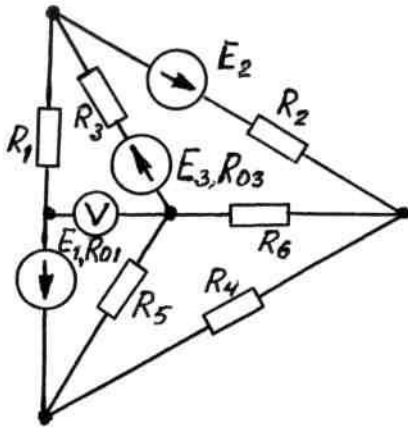


Рис. П.3

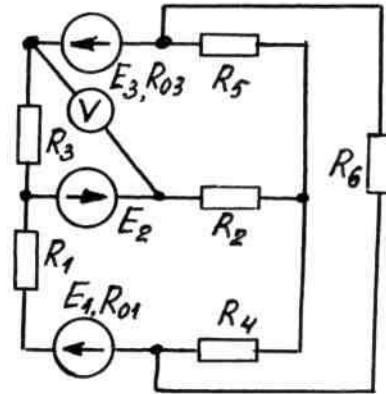


Рис. П.4

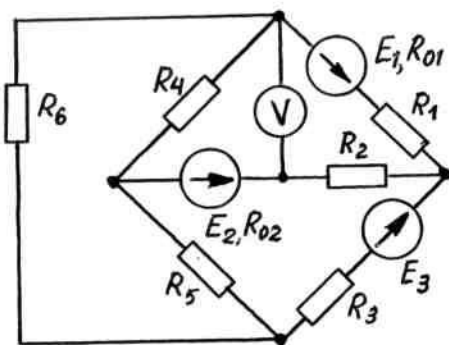


Рис. П.5

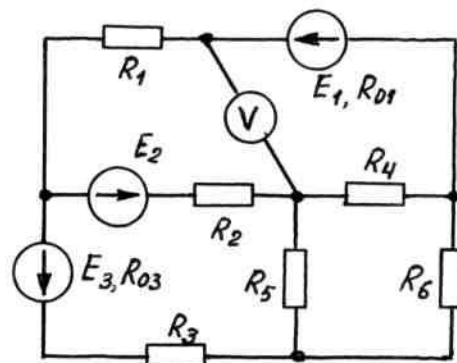


Рис. П.6

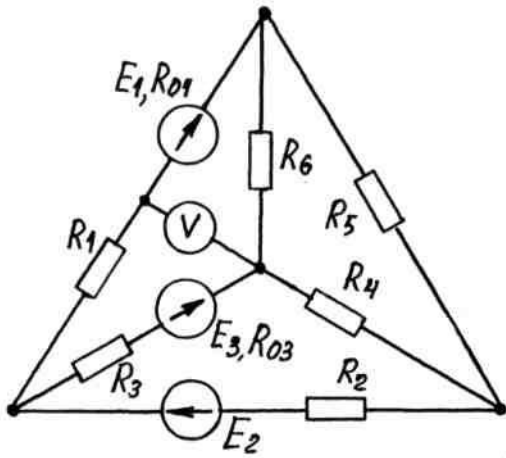


Рис. П.7

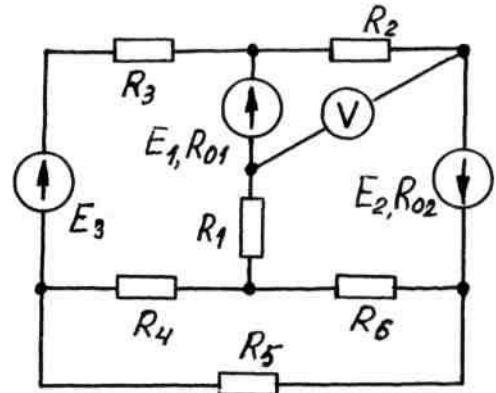


Рис. П.8

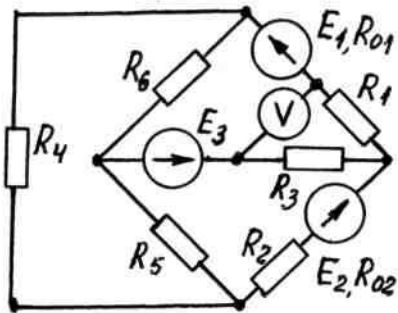


Рис. П.9

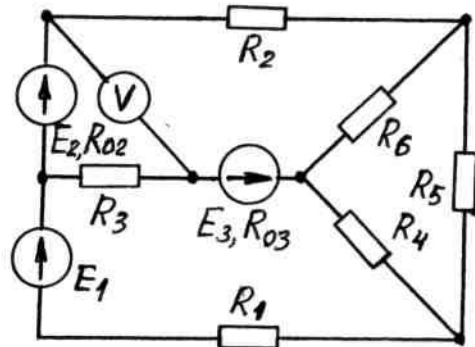


Рис. П.10

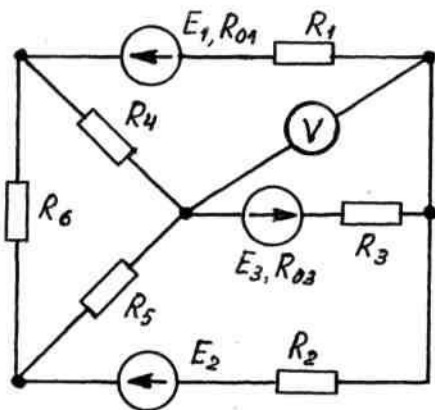


Рис. П.11

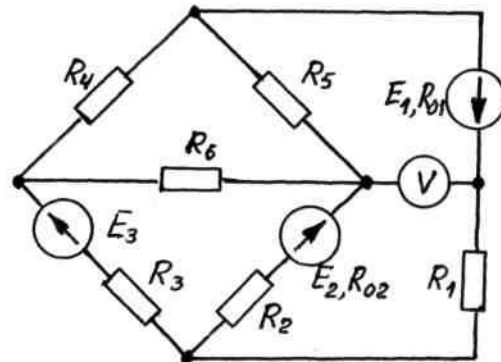


Рис. П.12

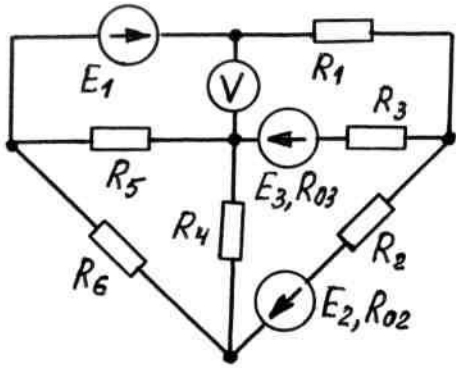


Рис. П.13

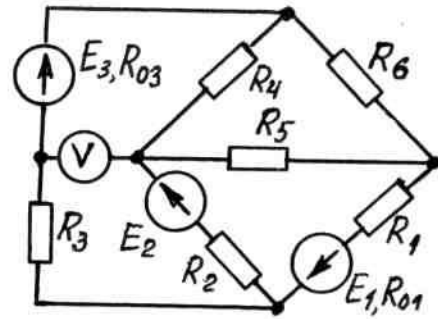


Рис. П.14

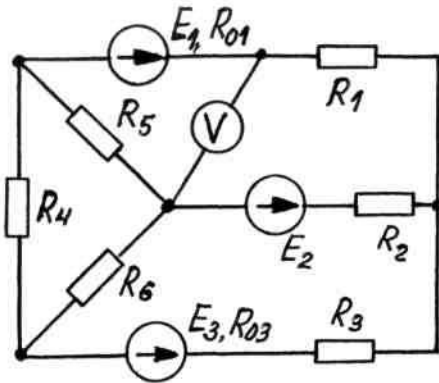


Рис. П.15

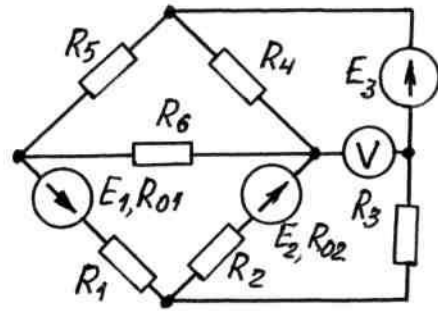


Рис. П.16

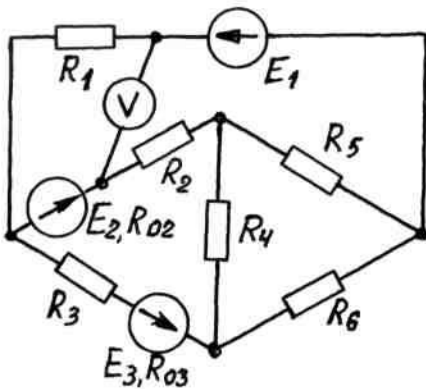


Рис. П.17

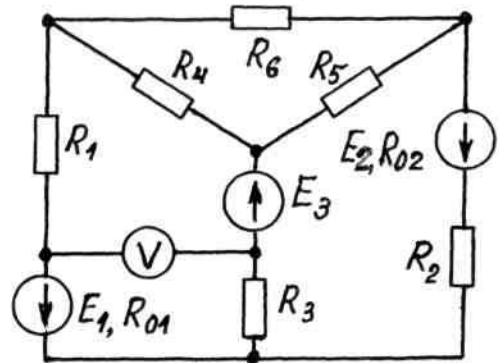


Рис. П.18

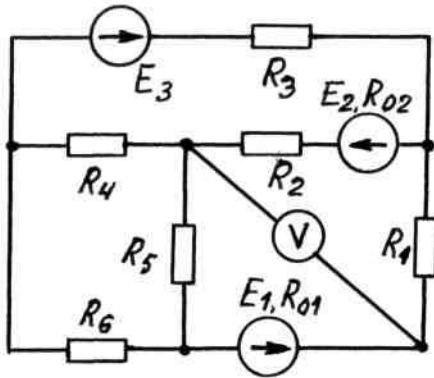


Рис. П.19

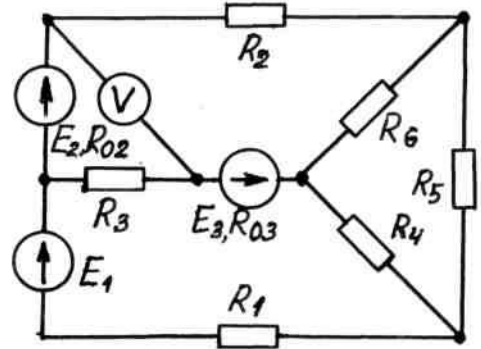


Рис. П.20

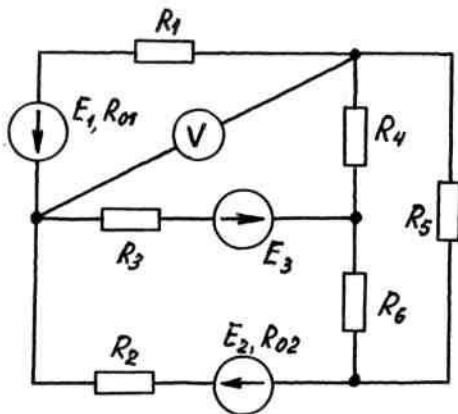


Рис. П.21

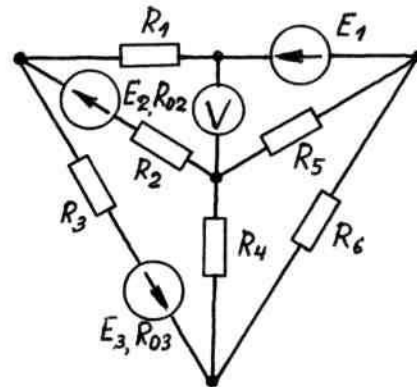


Рис. П.22

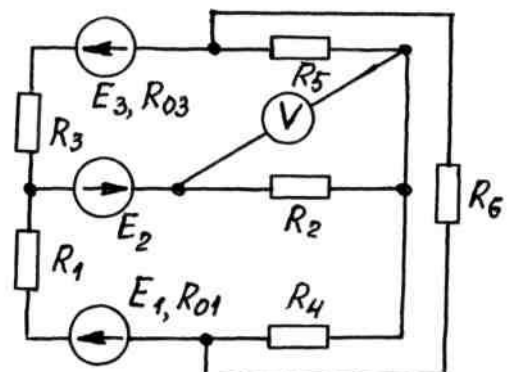
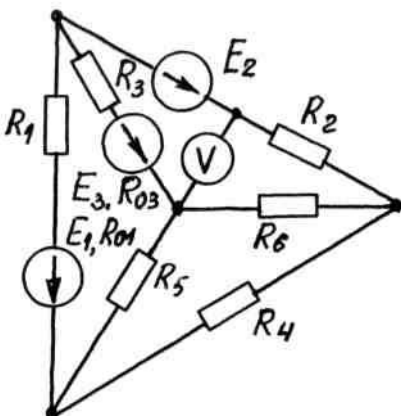




Рис. П.23

Рис. П.24

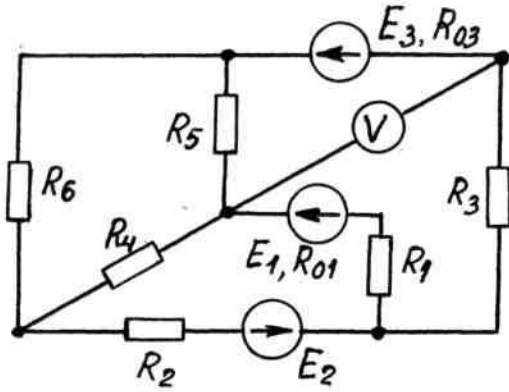


Рис. П.25

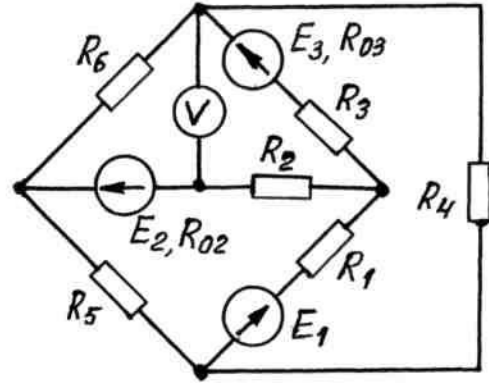


Рис. П.26

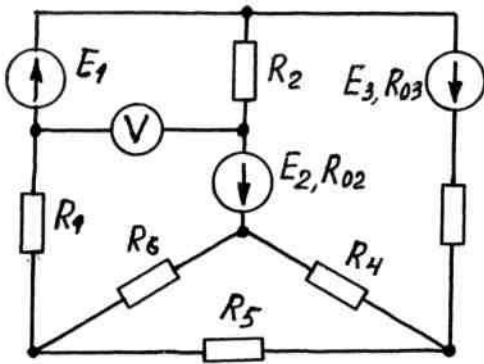


Рис. П.27

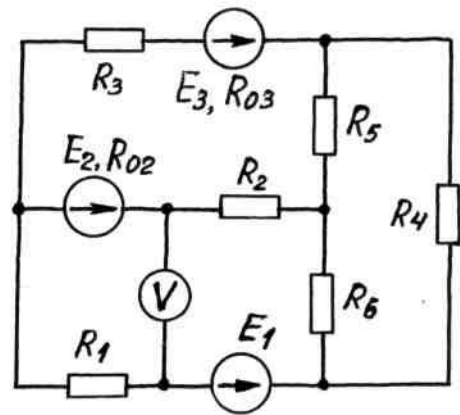


Рис. П.28

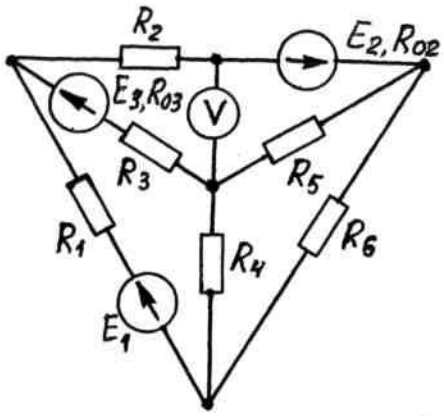


Рис. П.29

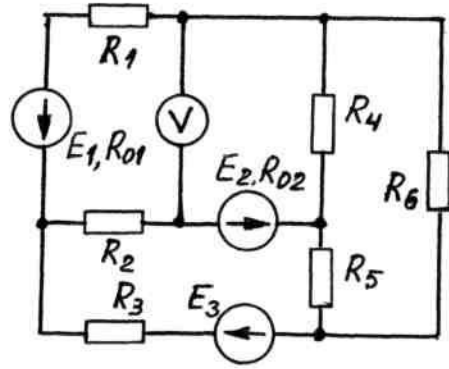


Рис. П.30

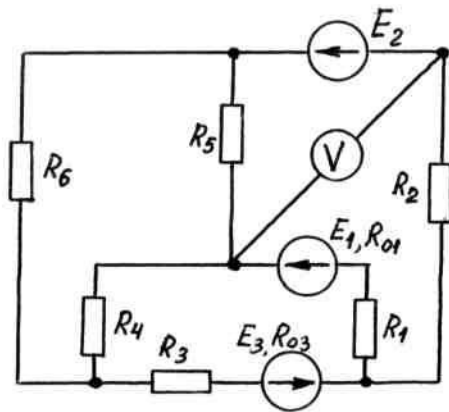


Рис. П.31

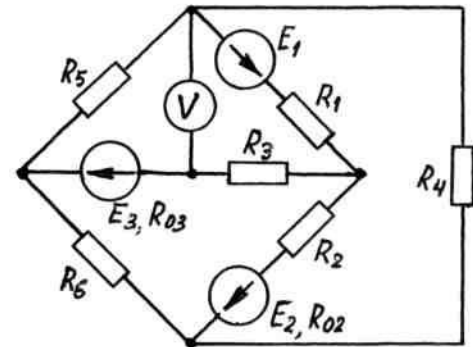


Рис. П.32

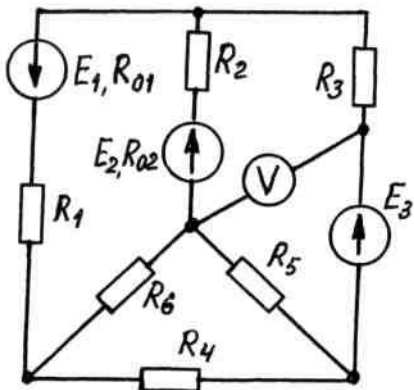


Рис. П.33

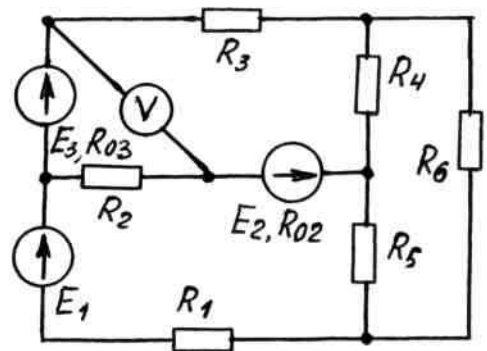


Рис. П.34

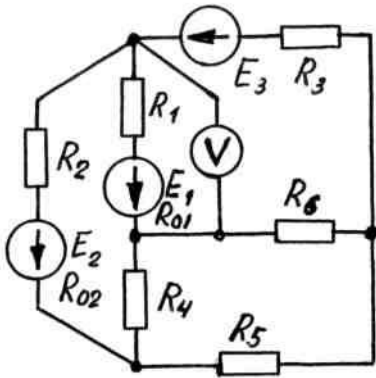


Рис. П.35

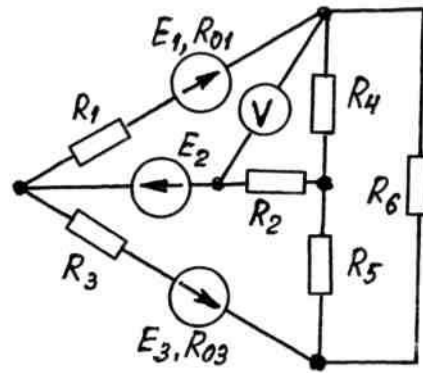


Рис. П.36

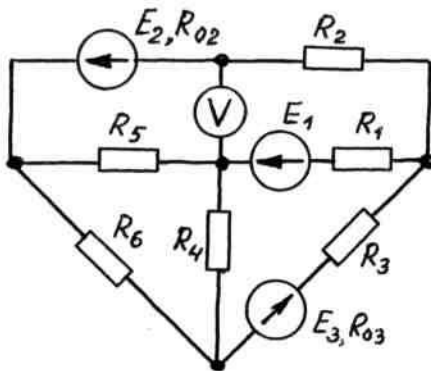


Рис. П.37

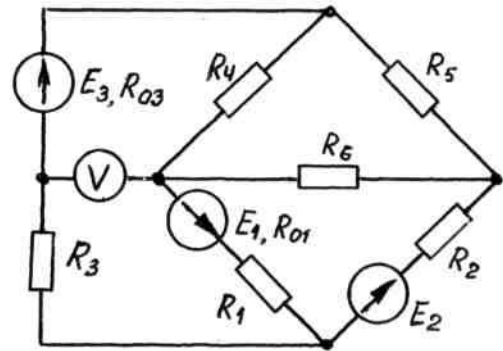


Рис. П.38

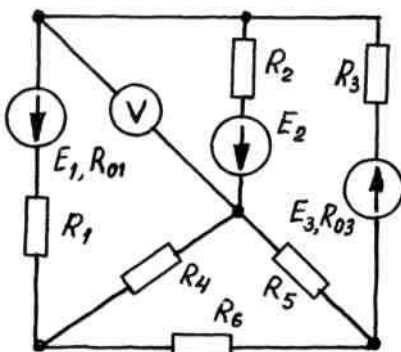


Рис. П.39

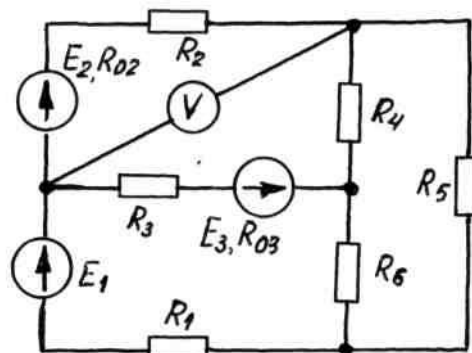


Рис. П.40

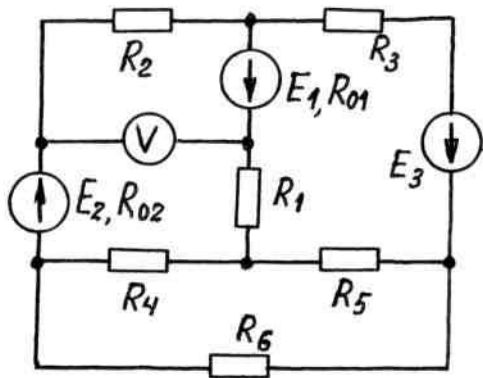


Рис. II.41

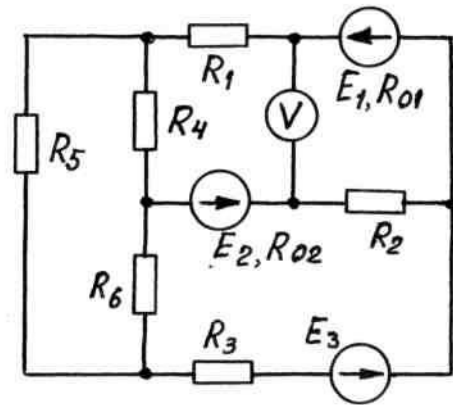


Рис. II.42

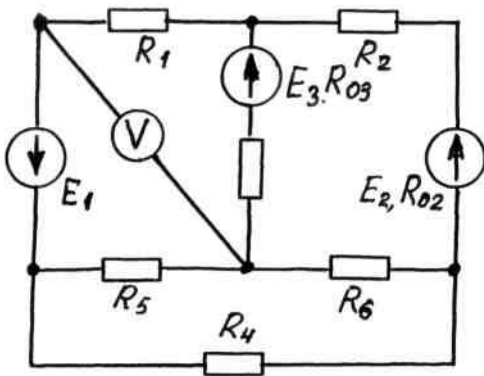


Рис. II.43

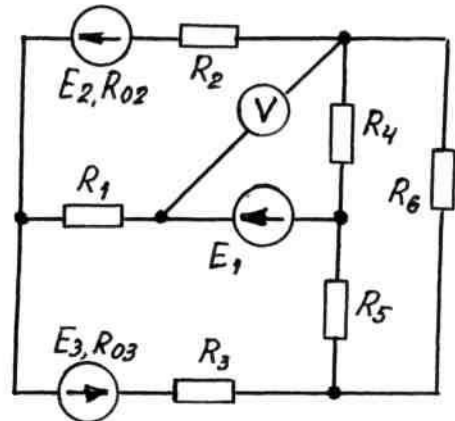


Рис. II.44

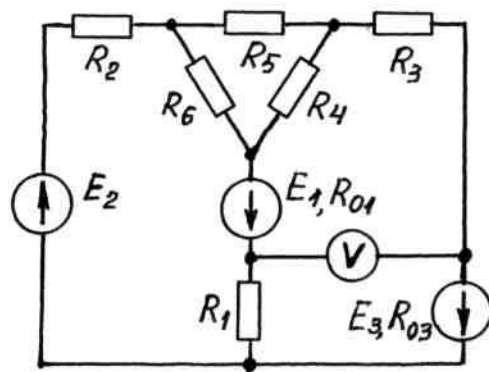
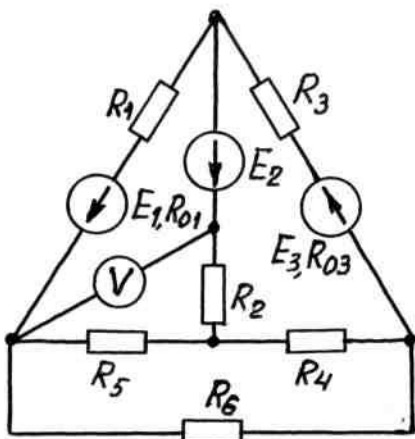


Рис. П.45

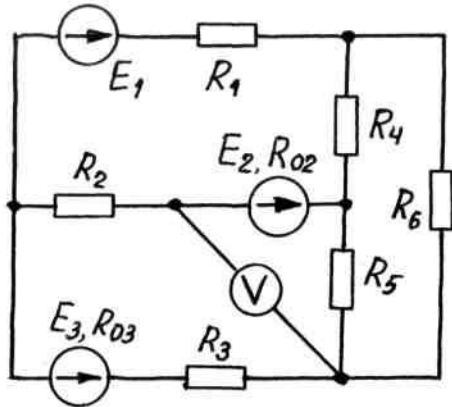


Рис. П.47

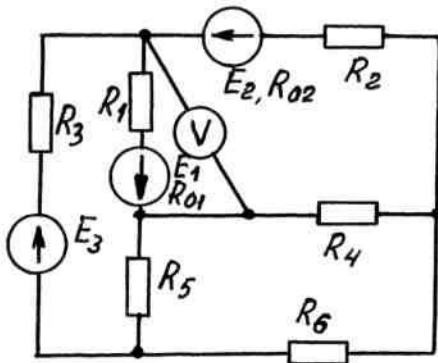


Рис. П.49

Рис. П.46

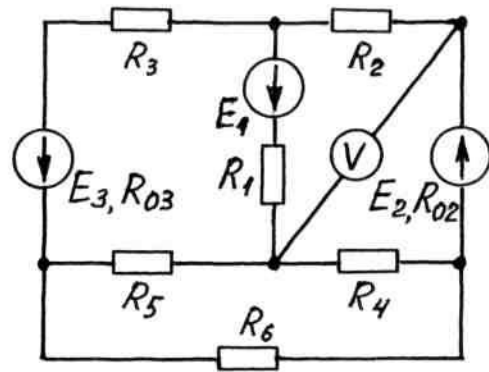


Рис. П.48

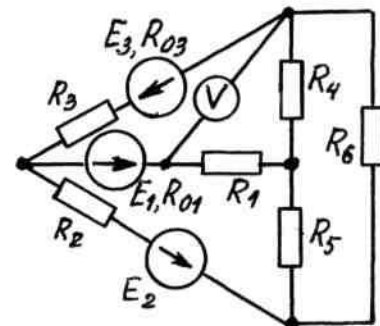


Рис. П.50

Приложение 2. Образец 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 Иванов Б.В.  
группа СМ4– 51

Проверил : доцент Мисеюк О.И.

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

Москва, 2015 г.