

Министерство образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий



Кафедра электротехники и электроники

**РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮ-
ТЕРА**

Методические указания
по выполнению расчетно-графической работы
для студентов всех специальностей

Санкт-Петербург 2002

УДК 621.3

Афанасьева Н.А., Батяев А.А, Новотельнова А.В. Расчет электрических цепей постоянного и переменного тока с использованием персонального компьютера: Метод. указания по выполнению расчетно-графической работы для студентов всех спец. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2002. – 59 с.

Приводится описание расчетно-графической работы, выполняемой при изучении курса "Электротехника и основы электроники".

Рецензент

Канд. техн. наук, доц. Ю.А. Рахманов

Одобрены к изданию советом факультета техники пищевых производств

© Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, 2002

ВВЕДЕНИЕ

Для расчета любой электротехнической установки, с которой встречаются на практике выпускники СПбГУНиПТ, могут быть использованы эквивалентные электрические схемы. Поэтому умение анализировать (рассчитывать) электрические цепи постоянного и переменного тока является важнейшим элементом процесса обучения курсу “Электротехника и электроника”.

Предлагаемая расчетно-графическая работа (РГР) содержит три задачи:

- расчет цепи постоянного тока;
- расчет цепи однофазного синусоидального тока;
- расчет трехфазной цепи.

Каждая из предлагаемых задач имеет свою специфику в процедуре решения.

Задачи анализа электрических цепей решаются при помощи законов Ома и Кирхгофа. Применение этих законов приводит к необходимости составления и решения систем алгебраических уравнений высокого порядка.

Использование комплексных чисел при анализе цепей переменного тока (символический метод) приводит к дополнительному усложнению задачи.

Применение персональных компьютеров и современных прикладных программ (таких, как MathCAD) становится необходимым для решения систем уравнений.

Основной задачей студентов при выполнении РГР является тщательная и вдумчивая работа по анализу электрических схем с последующим составлением системы уравнений. Рутинная работа (вычисление искомых токов) выполняется на компьютере. Проверка полученных решений является неотъемлемой частью выполняемой работы, так как позволяет акцентировать внимание на физическом смысле процессов, происходящих в конкретной электрической цепи.

Использование программы MathCAD при выполнении расчетно-графической работы

Для автоматизации расчетов при выполнении РГР рекомендуется использовать программу MathCAD. Эта программа содержит текстовый ре-

дактор, мощный вычислитель и несложный в применении графический процессор. Обширный набор векторных и матричных операций, а также выполнение всех операций с вещественными и комплексными числами, делают программу MathCAD очень удобной для электротехнических расчетов, анализа и моделирования электрических и электронных цепей и устройств.

Возможность использования программы рассмотрим на примере системы уравнений 3-го порядка. Если исходная модель электрической цепи содержит три ветви (три неизвестных тока), то система уравнений, составленная по первому и второму законам Кирхгофа, будет иметь третий порядок. Для использования программы MathCAD необходимо эту систему уравнений записать в канонической форме. Каноническая форма предполагает такую запись, когда в каждом уравнении системы содержатся все неизвестные. Если в первоначально составленном уравнении какое-либо неизвестное отсутствует, то коэффициент при этом неизвестном принимается равным нулю.

$$\left. \begin{aligned} a_1 I_1 + b_1 I_2 + c_1 I_3 &= d_1 \\ a_2 I_1 + b_2 I_2 + c_2 I_3 &= d_2 \\ a_3 I_1 + b_3 I_2 + c_3 I_3 &= d_3 \end{aligned} \right\}$$

В матричной форме записи эта система уравнений имеет вид $A I = D$, где

$$A = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix};$$

$$I = \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{vmatrix};$$

$$D = \begin{vmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{vmatrix}.$$

Тогда искомая матрица токов равна $I = A^{-1}D$, или

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{pmatrix}$$

Это выражение и является исходным при решении задачи в системе MathCAD. Следует обратить внимание, что для электрических цепей постоянного тока коэффициенты a_i , b_i , c_i при неизвестных токах в системе уравнений являются вещественными числами, а для цепей переменного тока – комплексными, например, $a_i = x_i + j y_i$, где j – мнимая единица.

При выполнении задачи по расчету цепи трехфазного синусоидального тока программа MathCAD позволяет облегчить работу с комплексными многочленами.

Пример расчета системы линейных уравнений с помощью программы MathCAD рассмотрен в прил. 1, а пример создания векторных диаграмм – в прил. 2.

ЗАДАЧА 1. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Задача посвящена расчету токов в линейной электрической цепи постоянного тока.

Постановка задачи

Для электрических цепей, представленных в прил. 3, рис. 1–30, по заданным значениям сопротивлений и э.д.с. (прил. 3, табл.) произвести расчет в следующей последовательности.

1. Составить систему уравнений по первому и второму законам Кирхгофа.
2. Вычислить токи на всех участках цепи.
3. Осуществить проверку правильности решения путем подстановки полученных по п. 2 результатов в уравнение, составленное по второму закону Кирхгофа и неиспользованное в системе по п. 1.
4. Составить баланс мощностей анализируемой электрической цепи.

Особенности расчета цепей постоянного тока

Задача решается посредством составления и решения уравнений по первому и второму законам Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа применяется к узлам электрической цепи и формулируется следующим образом: алгебраическая сумма токов в узле равна нулю

$$\sum I_k = 0,$$

где k – число ветвей сходящихся в узле.

При составлении уравнений по первому закону Кирхгофа одинаковые знаки должны быть взяты для токов, имеющих одинаковые направления относительно узловой точки. Например, если токи, направленные к узлу, записывают с положительными знаками, то токи направленные от узла – с отрицательными знаками.

Второй закон Кирхгофа применяется к любому контуру электрической цепи и формулируется следующим образом: в любом замкнутом контуре алгебраическая сумма падений напряжений на сопротивлениях, входящих в этот контур, равна алгебраической сумме э.д.с. в контуре

$$\sum R_i I_i = \sum E_i.$$

В этом уравнении положительные знаки принимаются для падений напряжений и э.д.с., направления которых совпадают с произвольно выбранным направлением обхода рассматриваемого контура, а отрицательные – в противном случае.

Для полной характеристики электрического состояния цепи надо знать не только токи и напряжения, но и мощности источников ($P_{\text{ист}} = E_i I_i$) и приемников энергии ($P_{\text{приемн}} = R I^2$). В соответствии с законом сохранения энергии развиваемая всеми источниками мощность равна суммарной мощности, потребляемой приемниками

$$\sum_h E_h I_h = \sum_i R_i I_i^2$$

Это выражение принято называть балансом мощностей.

Все слагаемые в правой части выражения приводятся со знаком плюс.

В левой части выражения сумма алгебраическая, то есть если при заданных направлениях действия источника э. д. с., ток и э. д. с. имеют противоположное направление, то этот источник не развивает заданную мощность, а получает ее от других источников. Соответствующее слагаемое при составлении баланса следует брать со знаком минус.

При совпадении направлений действия тока и э. д. с. слагаемое при составлении баланса следует брать со знаком плюс.

Последовательность решения задачи

Порядок работы с исходной схемой должен быть следующим:

1. Привести заданную электрическую цепь к расчетному виду, то есть все имеющиеся в отдельных ветвях последовательные или параллельные соединения приемников (или источников) следует заменить соответствующим эквивалентным двухполюсником.

2. Обозначить в каждой ветви ток I_i с соответствующим индексом, а также указать стрелкой его условное положительное направление. Определить k – число неизвестных токов и n – общее число узлов в расчетной схеме.

3. Записать на основании первого и второго законов Кирхгофа систему k – уравнений для определения токов I_k , руководствуясь следующим:

– для любых $(n - 1)$ узлов записываются уравнения по первому закону Кирхгофа;

– на основании второго закона Кирхгофа, предварительно задавшись положительным направлением обхода независимых контуров, составить $k - (n - 1)$ уравнений.

Полученную систему уравнений следует записать в удобной для работы с компьютером форме, то есть в каждом уравнении должны присутствовать все неизвестные токи – I_k , расположенные в порядке возрастания их индексов. Если в уравнении какой-либо ток отсутствует, то он записывается с коэффициентом равным 0. Таким образом $(n - 1)$ уравнений обязательно будут иметь правые части равные 0. Правые части остальных $k - (n - 1)$ уравнений состоят из алгебраической суммы э.д.с. источников, входящих в соответствующий контур.

Полученные в результате решения некоторые значения токов могут оказаться отрицательными. Это означает, что реальные токи имеют направления, обратные принятым при составлении уравнений.

4. Произвести проверку полученных решений по уравнению, составленному по второму закону Кирхгофа для неиспользуемого контура.

5. Составить баланс мощностей.

ЗАДАЧА 2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Для электрических цепей однофазного синусоидального тока, изображенных в прил. 4, рис. 1–30, по заданным параметрам (прил. 4, табл.):

– определить токи во всех ветвях электрической цепи при заданном напряжении питающей сети промышленной частоты 50 Гц;

– составить баланс активных и реактивных мощностей;

– построить векторную диаграмму токов и напряжений на всех участках цепи.

Особенности расчета однофазных цепей синусоидального переменного тока

Уравнения для расчета цепей синусоидального тока, составленные по законам Кирхгофа, записываются в алгебраической форме с использованием комплексных чисел.

По первому закону Кирхгофа для действующих значений токов, сумма комплексных токов в узле равна нулю

$$\sum_k \dot{I}_k = 0.$$

Согласно второму закону Кирхгофа, сумма комплексных падений напряжений в контуре равна сумме комплексных э.д.с. в этом же контуре

$$\sum_i \underline{Z}_i \dot{I}_i = \sum_m \dot{E}_m.$$

Основные расчетные соотношения приведены в таблице.

Основные расчетные формулы

| Вид цепи | Сопротивление | | | | Мощность | | | |
|---|---------------|-----------|---------------------|--------------------|----------|-----------|------------|--------------------|
| | R | X_L | X_C | Z | P | Q_L | Q_C | S |
| Резистор | R | 0 | 0 | R | $I^2 R$ | 0 | 0 | P |
| Идеальный индуктивный элемент | 0 | $2\pi fL$ | 0 | jX_L | 0 | $I^2 X_L$ | 0 | jQ_L |
| Идеальный емкостной элемент | 0 | 0 | $\frac{1}{2\pi fC}$ | $-jX_C$ | 0 | 0 | $I^2 X_C$ | $-jQ_C$ |
| Последовательное соединение R и L элементов | R | $2\pi fL$ | 0 | $R + jX_L$ | $I^2 R$ | $I^2 X_L$ | 0 | $P + jQ_L$ |
| Последовательное соединение R и C элементов | R | 0 | $\frac{1}{2\pi fC}$ | $R - jX_C$ | $I^2 R$ | 0 | $I^2 X_C$ | $P - jQ_C$ |
| Последовательное соединение R , C и L элементов | R | $2\pi fL$ | $\frac{1}{2\pi fC}$ | $R + j(X_L - X_C)$ | $I^2 R$ | $I^2 X_L$ | $-I^2 X_C$ | $P + j(Q_L - Q_C)$ |

Последовательность решения задачи

1. В соответствии с номером варианта вычертить исходную электрическую схему.
2. Рассчитать величины реактивных сопротивлений элементов

$$X_{Ln} = \omega L_n = 2\pi f L_n$$

$$X_{Cm} = \frac{1}{\omega C_m} = \frac{1}{2\pi f C_m}$$

3. Произвести необходимые преобразования в схеме (упрощения) и составить схему замещения.
4. Рассчитать полные комплексные сопротивления отдельных ветвей $Z_i = R_i \pm jX_i$.

5. Составить систему уравнений для неизвестных токов на основании первого и второго законов Кирхгофа в комплексной форме.

6. Решить систему уравнений в системе MathCAD и определить токи \dot{I}_i .

7. Рассчитать действующие значения токов

$$I_i = \sqrt{\left(\operatorname{Re} \dot{I}_i\right)^2 + \left(\operatorname{Im} \dot{I}_i\right)^2}$$

8. Рассчитать активную мощность P , потребляемую элементами электрической цепи

$$P = \sum_i R_i I_i^2,$$

где I_i – действующие значения токов.

9. Рассчитать реактивную мощность Q , потребляемую элементами электрической цепи

$$Q_L = \sum_n X_{L_n} I_n^2;$$

$$Q_C = \sum_m X_{C_m} I_m^2;$$

$$Q = Q_L - Q_C.$$

10. Составить выражение полной мощности, потребляемой приемниками, в комплексной форме

$$\underline{S} = P + jQ$$

11. Рассчитать полную мощность, отдаваемую источником

$$\underline{S} = \dot{U} I^*$$

12. Произвести расчет баланса мощностей

$$\dot{U} I^* = P + jQ$$

13. Построить на комплексной плоскости векторные диаграммы токов и напряжений.

ЗАДАЧА 3. РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Задача посвящена расчету токов в фазных и линейных проводах и мощностей в трехфазной электрической цепи с двумя приемниками. Фазы первого приемника соединены звездой, фазы другого – треугольником.

Для электрических цепей, представленных в прил. 5, рис. 1–3, по заданным в прил. 5, табл. 1, 2 значениям сопротивлений произвести расчет фазных и линейных токов, напряжений, полных мощностей, составить баланс активных мощностей. Частота питающей сети 50 Гц. Построить векторные диаграммы фазных и линейных токов и напряжений для приемника, соединенного «звездой», для приемника, соединенного «треугольником» и для источника.

Последовательность решения задачи

1. В соответствии с номером варианта вычертить исходную электрическую схему (прил. 5, рис. 1 или 2) и выписать параметры фазных сопротивлений нагрузки.

Следует обратить внимание на то, что если какое-то сопротивление равно 0, (например, $X_1 = 0$), то оно в расчетной схеме заменяется проводником, что соответствует короткому замыканию данного участка цепи. Если сопротивление элемента равно ∞ , то это соответствует разрыву данного участка цепи.

2. Привести схему к расчетному виду (прил. 5, рис. 3).

3. Рассчитать полные комплексные сопротивления фаз приемника, соединенного «звездой» $\underline{Z}_A, \underline{Z}_B, \underline{Z}_C$.

4. Рассчитать полные комплексные сопротивления фаз приемника, соединенного «треугольником» $\underline{Z}_{AB}, \underline{Z}_{BC}, \underline{Z}_{CA}$.

5. Пользуясь основными расчетными соотношениями, приведенными ниже, произвести расчет фазных напряжений источника (генератора):

$$\dot{U}_A = U_A = \frac{U}{\sqrt{3}};$$

$$\dot{U}_B = U_A a^2;$$

$$\dot{U}_C = U_A a.$$

Фазные множители a и a^2 определяются соотношениями

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2};$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}.$$

6. Рассчитать соответствующие линейные напряжения по формулам

$$\dot{U}_{AB} = U_A (1 - a^2);$$

$$\dot{U}_{BC} = U_A (a^2 - a);$$

$$\dot{U}_{CA} = U_A (a - 1).$$

7. Рассчитать напряжение смещения нейтрали для приемника, фазы которого соединены «звездой»

$$\dot{U}_{nN} = \frac{U_A \left(\frac{1}{\underline{Z}_A} + \frac{a^2}{\underline{Z}_B} + \frac{a}{\underline{Z}_C} \right)}{\frac{1}{\underline{Z}_A} + \frac{1}{\underline{Z}_B} + \frac{1}{\underline{Z}_C}}.$$

8. Пользуясь расчетными соотношениями, приведенными ниже, произвести расчет фазных напряжений приемника, фазы которого соединены «звездой»

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{nN};$$

$$\dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{nN};$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{nN}.$$

9. Определить величины соответствующих фазных токов

$$i_{a1} = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_A};$$

$$\dot{i}_{b1} = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b};$$

$$\dot{i}_c = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c}$$

10. Произвести проверку проведенного расчета

$$\dot{I}_{a1} + \dot{I}_{b1} + \dot{I}_{c1} = 0.$$

11. Рассчитать мощность фаз нагрузки для приемника, соединенного «звездой»

$$\underline{S}_a = |\dot{I}_{a1}|^2 \underline{Z}_A;$$

$$\underline{S}_b = |\dot{I}_{b1}|^2 \underline{Z}_B;$$

$$\underline{S}_c = |\dot{I}_c|^2 \underline{Z}_C.$$

12. Рассчитать мощность, потребляемую приемником, соединенным «звездой»

$$\underline{S}_Y = \underline{S}_a + \underline{S}_b + \underline{S}_c = P_Y + jQ_Y.$$

13. Для приемника, соединенного по схеме “треугольник”, определить фазные токи

$$\dot{I}_{ab} = \dot{U}_{AB} / \underline{Z}_{AB};$$

$$\dot{I}_{bc} = \dot{U}_{BC} / \underline{Z}_{BC};$$

$$\dot{I}_{ca} = \dot{U}_{CA} / \underline{Z}_{CA}.$$

14. Рассчитать линейные токи для приемника, соединенного по схеме “треугольник”

$$\dot{I}_{a2} = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca};$$

$$\dot{I}_{b2} = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab};$$

$$\dot{I}_{c2} = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}.$$

15. Вычислить мощности фаз нагрузки

$$\underline{S}_{ab} = |\dot{I}_{ab}|^2 \underline{Z}_{AB};$$

$$\underline{S}_{bc} = |\dot{I}_{bc}|^2 \underline{Z}_{BC};$$

$$\underline{S}_{ca} = |\dot{I}_{ca}|^2 \underline{Z}_{CA}.$$

16. Определить полную мощность, потребляемую приемником, соединенным по схеме “треугольник”

$$\underline{S}_{\nabla} = \underline{S}_{ab} + \underline{S}_{bc} + \underline{S}_{ca} = P_{\nabla} + jQ_{\nabla}.$$

17. Рассчитать токи в линейных проводах

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{b1} + \dot{I}_{b2};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{c1} + \dot{I}_{c2}.$$

18. Вычислить активную мощность, потребляемую нагрузкой

$$P_{np} = P_{\nabla} + P_Y.$$

19. Построить векторные диаграммы токов и напряжений для приемников, соединенных «звездой», «треугольником» и для источника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иванов И.И., Равдоник В.С.** Электротехника. М.: Высш. шк., 1984. – 322 с.
2. **Касаткин А.С., Немцов М.В.** Электротехника. М.: Высш. шк., 2002. – 542 с.
3. Методические указания для самостоятельного изучения дисциплины «Электротехника и электроника». Ч. 1. – СПб.: СПбГАХИТ, 1992. – 285 с.

Пример расчета системы линейных уравнений с помощью программы MathCAD

Возможность использования программы MathCAD рассмотрим на примере решения системы уравнений с тремя неизвестными.

Для схемы, представленной на рис. 1, вычислить неизвестные токи I_1, I_2, I_3 . Значения сопротивлений принять равными $R_1 = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 5 \text{ Ом}$, $R_3 = 7 \text{ Ом}$. Значения э.д.с. $E_1 = 5 \text{ В}$, $E_2 = 6 \text{ В}$.

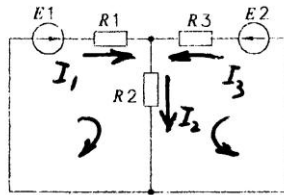


Рис. 1

Рис. 1

Система уравнений, составленная по первому и второму законам Кирхгофа, будет выглядеть следующим образом

$$\left. \begin{aligned} I_1 + I_2 - I_3 &= 0; \\ R_1 I_1 + R_2 I_2 + I_3 &= E_1; \\ I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3 &= E_2. \end{aligned} \right\}$$

При подстановке численных значений эта система уравнений примет вид

$$\left. \begin{aligned} I_1 + I_2 - I_3 &= 0; \\ 3I_1 + 5I_2 + I_3 &= 5; \\ I_1 + 5I_2 + 7I_3 &= 6. \end{aligned} \right\}$$

Решение системы уравнений с помощью программы MathCAD

1. Создать шаблон решения системы уравнений. Для этого на панели «Матрица» выбрать символ «Матрица или вектор». Параметры матрицы (количество строк и столбцов) зависят от числа неизвестных искомого тока. В рассматриваемом примере принять их равными трем.

Результат выполнения описанного действия приведен на рис. 2.

$$\begin{pmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix}$$

Рис. 2

2. В свободные ячейки заносятся численные значения коэффициентов при искомым токах, с помощью панели «Арифметика» и клавиатуры (рис. 3).

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 3 & 5 & 0 \\ 0 & 5 & 7 \end{pmatrix}$$

Рис. 3

Инвертируем созданную матрицу с помощью знака «Инверсия» - « X^{-1} » из панели «Арифметика» (рис. 4)

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 3 & 5 & 0 \\ 0 & 5 & 7 \end{pmatrix}^{-1}$$

Рис. 4

3. Инвертированную матрицу необходимо умножить на дополнительную матрицу. Для этого из панели «Арифметика» выбирается знак «Умножение», а из панели «Матрица» – символ «Матрица или вектор». Параметры матрицы (количество строк и столбцов): количество строк принять равным числу неизвестных искомого тока (в рассматриваемом случае оно равно трем), а числу столбцов присваивается числовое значение «1».

Результат выполнения описанного действия приведен на рис. 5.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 3 & 5 & 0 \\ 0 & 5 & 7 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \blacksquare \\ \blacksquare \\ \blacksquare \end{pmatrix}$$

Рис. 5

4. Для заполнения дополнительной матрицы в свободные ячейки заносятся численные значения с помощью панели «Арифметика» и клавиатуры.

Результат выполнения описанного действия приведен на рис. 6.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 3 & 5 & 0 \\ 0 & 5 & 7 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix}$$

Рис. 6

5. Для нахождения искомых токов нужно выполнить следующие действия: из панели «Арифметика» выбрать «=» «Знак равенства» или ввести знак равенства с клавиатуры. Результат вычислений приведен на рис. 7.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 3 & 5 & 0 \\ 0 & 5 & 7 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 30 \\ -17 \\ 13 \end{pmatrix} \blacksquare$$

Рис. 7

6. Выписать результат расчета неизвестных токов из последней матрицы $I_1 = 0,43\text{A}$, $I_2 = 0,74\text{A}$, $I_3 = 0.32\text{A}$.

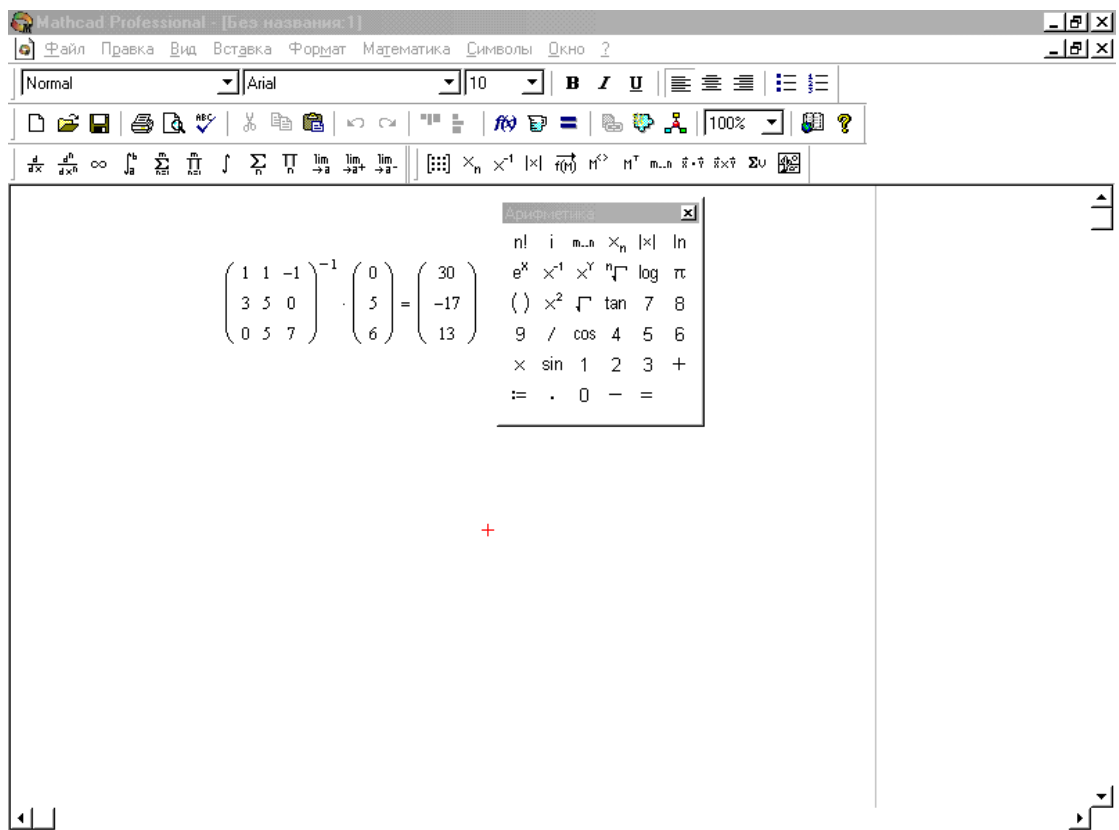


Рис. 8

Создание векторных диаграмм в программе MathCad

1. Пусть в комплексной форме заданы токи $I_1 = (5+i \cdot 3) \text{ A}$, $I_2 = (2-i \cdot 2) \text{ A}$, $I_3 = I_1 + I_2 \text{ A}$.

2. Набрать I_1 в комплексной форме:

С клавиатуры ввести буквенное обозначение тока «I1».

Ввести с панели инструментов «Арифметика» символ «:=» – присвоить значение.

С панели инструментов «Арифметика» осуществить набор данных $(5+i \cdot 3)$.

Закончить ввод нажатием клавиши «Enter».

Результат произведенных операций приведен на рис. 1

$$I_1 := (5 + 1i \cdot 3)$$

Рис. 1

3. Набрать комплексное число I_{1x} в векторной форме:

Ввести с клавиатуры буквенно-цифровое обозначение «I1x», а с панели инструментов «Арифметика» – символ «присвоить значение».

Используя панель инструментов «Векторные и матричные операции»: ввести символ «создать матрицу или вектор». Задать параметры матрицы: две строки – один столбец.

Первая строка соответствует началу координат: «0», вторая строка – вещественной части тока I_1 : «5».

Закончить ввод первой координаты вектора нажатием клавиши «Enter».

Результат произведенных операций приведен на рис. 2.

$$I_{1x} := \begin{pmatrix} 0 \\ 5 \end{pmatrix}$$

Рис. 2

4. Набрать комплексное число I_{1y} в векторной форме:

Ввести с клавиатуры буквенно-цифровое обозначение «I1y»; с панели инструментов «Арифметика» – символ «присвоить значение».

Используя панель инструментов «Векторные и матричные операции» ввести символ «создать матрицу или вектор». Задать параметры матрицы: две строки – один столбец.

Первая строка – ввод начала координат «0», вторая строка – мнимая часть тока I_1 «3».

Закончить ввод первой координаты вектора нажатием клавиши «Enter».

Результат произведенных операций приведен на рис. 3.

$$I_{1y} := \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \end{pmatrix}$$

Рис. 3

5. Используя последовательность действий по п.п. 2–4 ввести I_2 , I_2x и I_2y .

6. Набрать I_3x как сумму векторов. Для этого с клавиатуры ввести буквенно-цифровое обозначение тока « I_3x ».

На панели инструментов «Арифметика» выбрать символ «присвоить значение».

С клавиатуры ввести буквенно-цифровое выражение $(I_1x + I_2x)$.

Закончить ввод нажатием клавиши «Enter».

Результат произведенных операций приведен на рис. 4.

$$I_{3x} := I_{1x} + I_{2x}$$

Рис. 4

7. Набрать I_3y как сумму векторов. Для этого с клавиатуры ввести буквенно-цифровое обозначение тока « I_3y ».

На панели инструментов «Арифметика» выбрать символ «присвоить значение».

С клавиатуры ввести буквенно-цифровое выражение $(I_1y + I_2y)$.

Закончить ввод нажатием клавиши «Enter».

Результат произведенных операций изображен на рис. 5.

$$I_{3y} := I_{1y} + I_{2y}$$

Рис. 5

8. Для построения графика на панели инструментов «Инструменты графиков»: выбрать символ «Декартов график». На экране появится шаблон системы координат, изображенный на рис. 6.

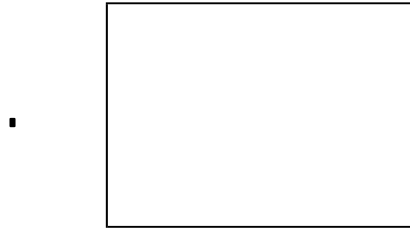


Рис. 6

При введении по оси X векторов с x-составляющей «I1x, I2x, I3x» значения вводятся через запятую.

При введении по оси Y векторов с y-составляющей «I1y, I2y, I3y» значения также вводятся через запятую.

Закончить ввод координат.

Результат произведенных операций изображен на рис. 7.

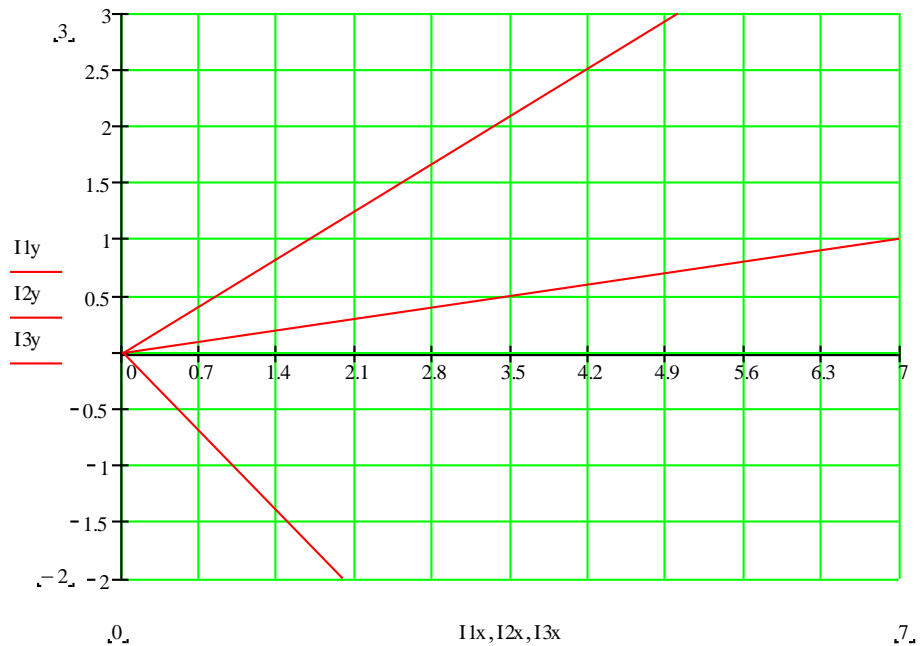


Рис. 7

9. Для редактирования свойств графика двойным щелчком левой клавиши мыши на поле графика вызвать панель «Formatting Currently Selected X-Y Plot». Задать свойства: «Стиль осей графика» – пересечение, «Вспом. линии» – есть, остальные свойства по умолчанию.

Размеры и свойства линий менять по необходимости.

На рис. 8 приведен общий вид рабочей области экрана программы MathCAD с результатом проведенных действий по п.п. 1–9.

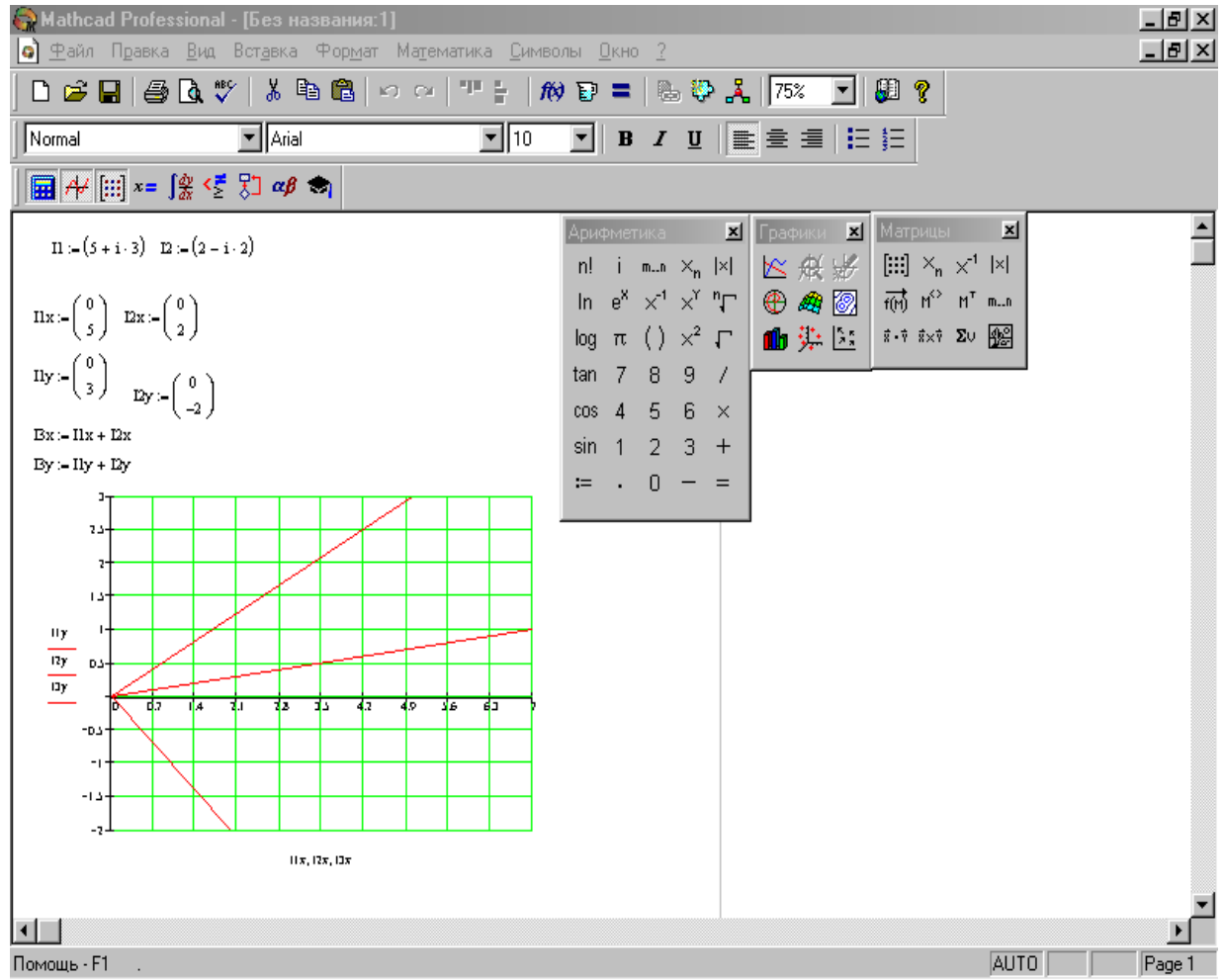


Рис. 8

Исходные данные для решения задачи 1

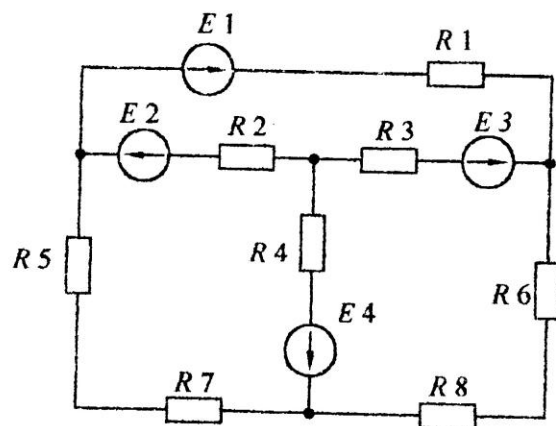


Рис. 1.

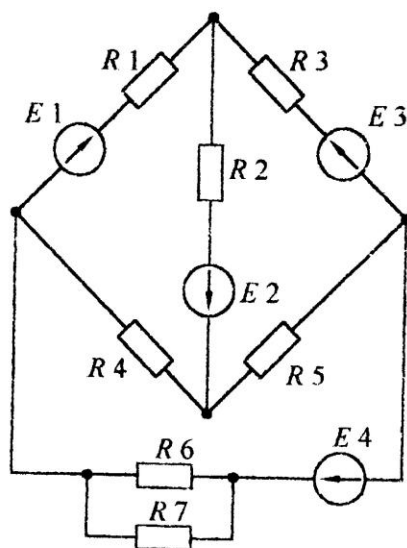


Рис. 2.

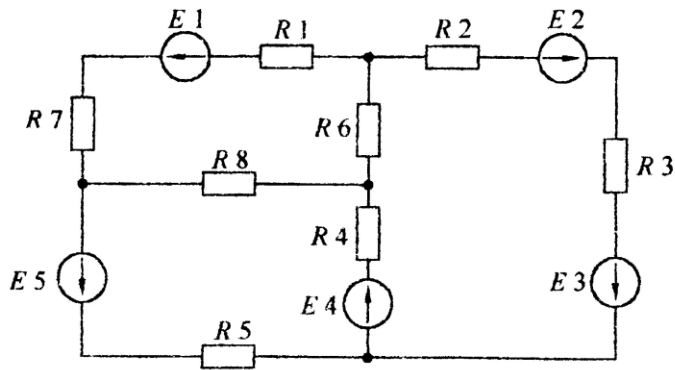


Рис. 3.

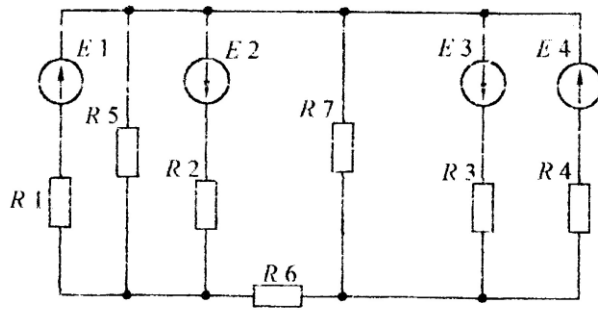


Рис. 4.

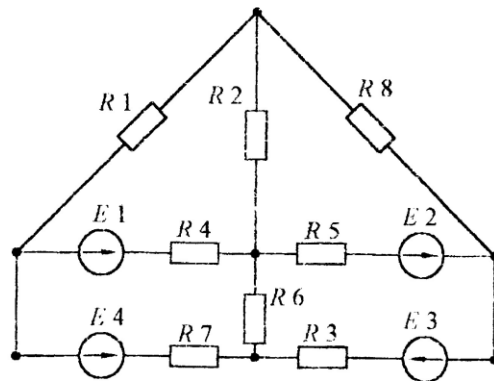


Рис. 5.

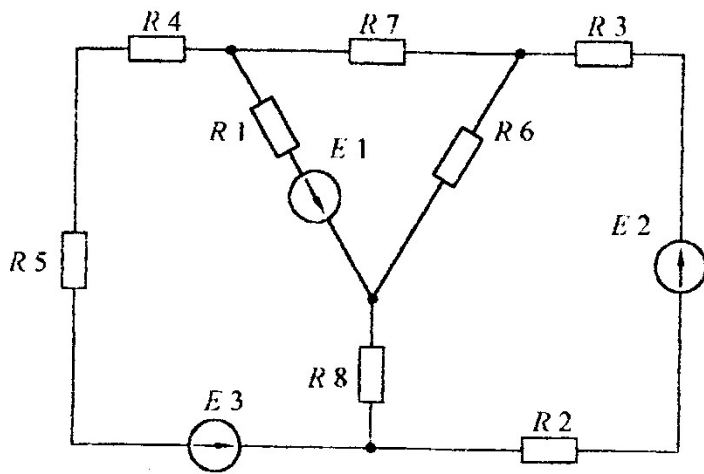


Рис. 6.

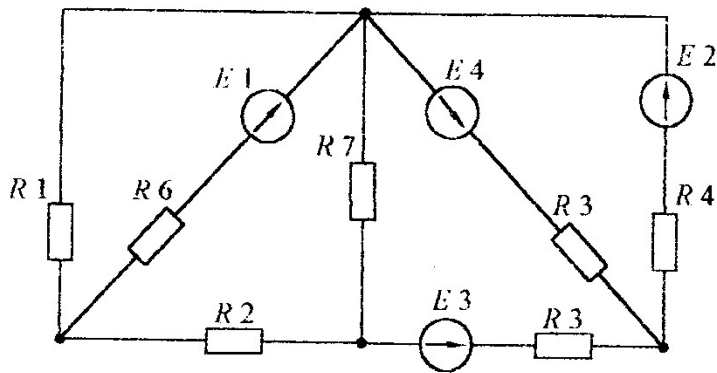


Рис. 7.

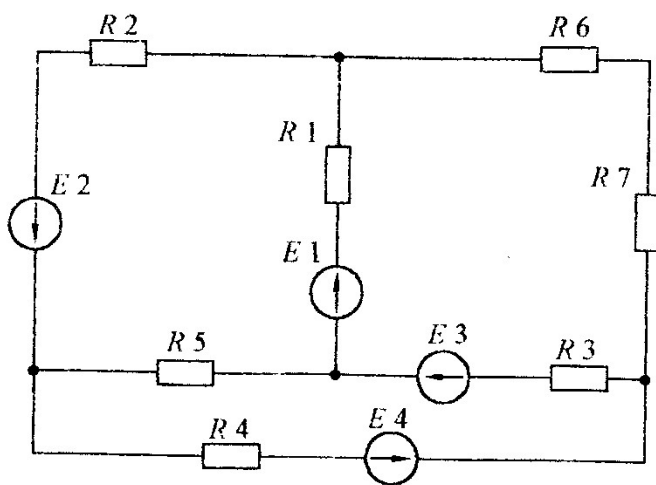


Рис. 8.

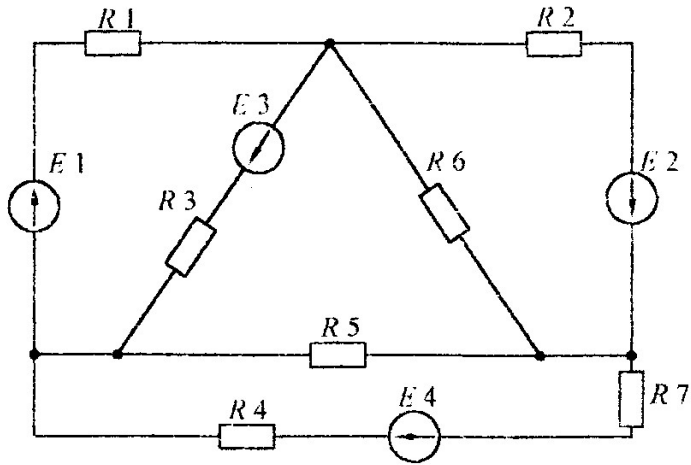


Рис. 9.

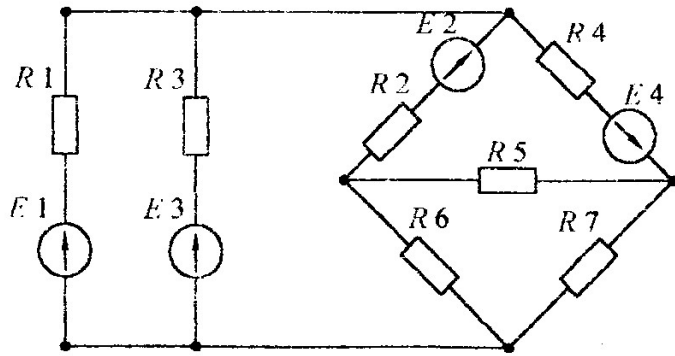


Рис. 10.

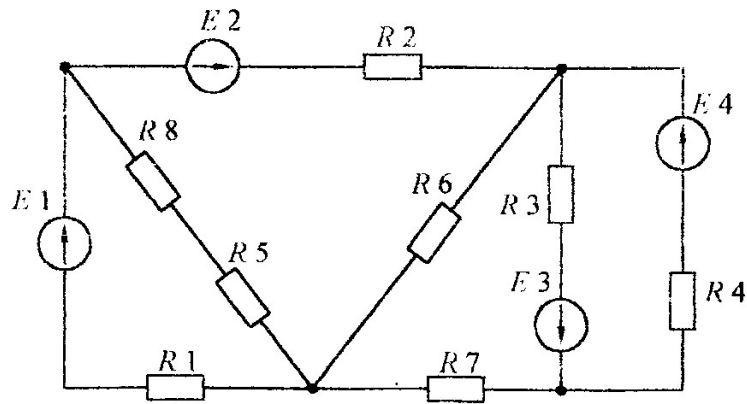


Рис. 11.

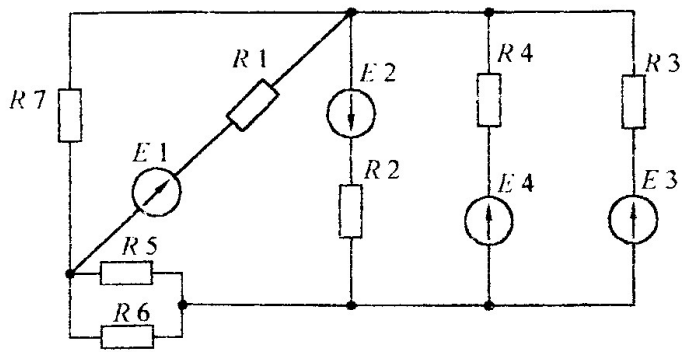


Рис. 12.

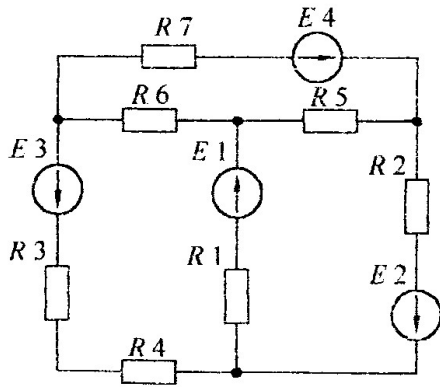


Рис. 13.

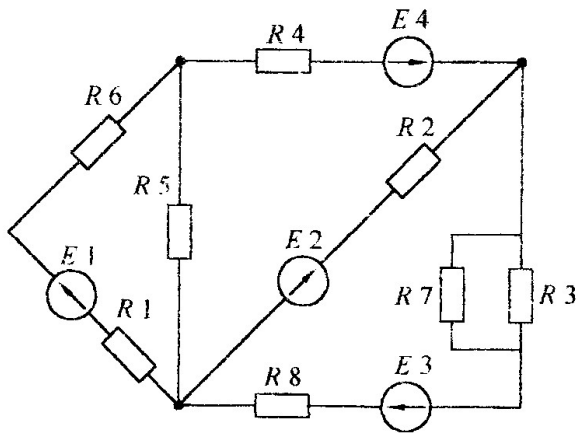


Рис. 14.

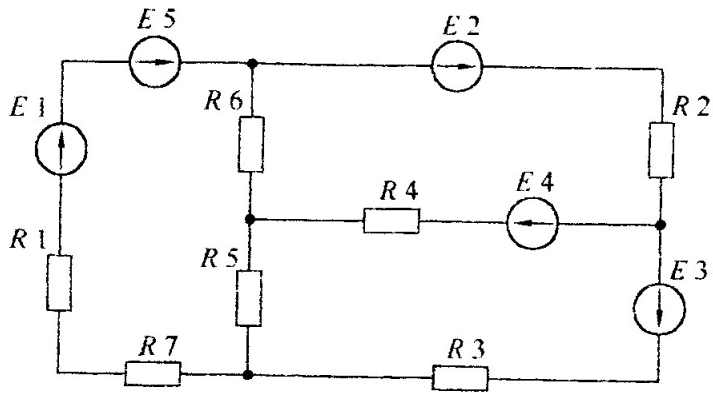


Рис. 15.

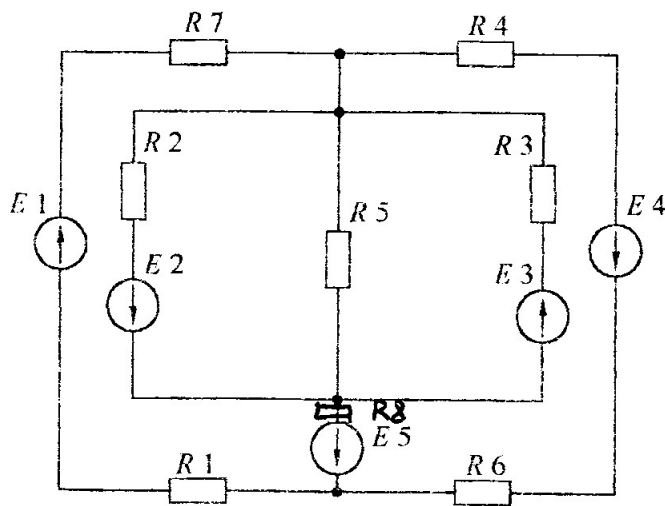


Рис. 16.

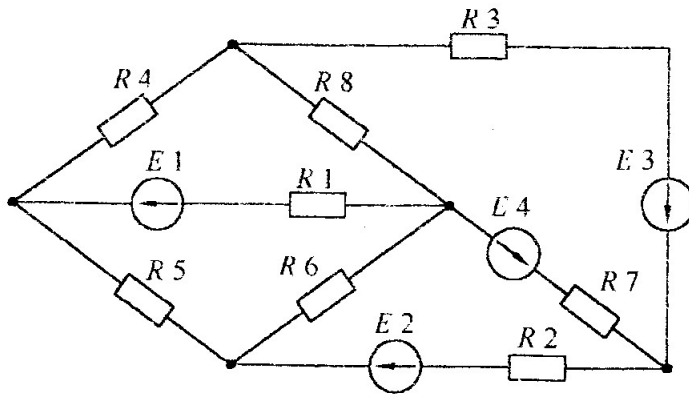


Рис. 17.

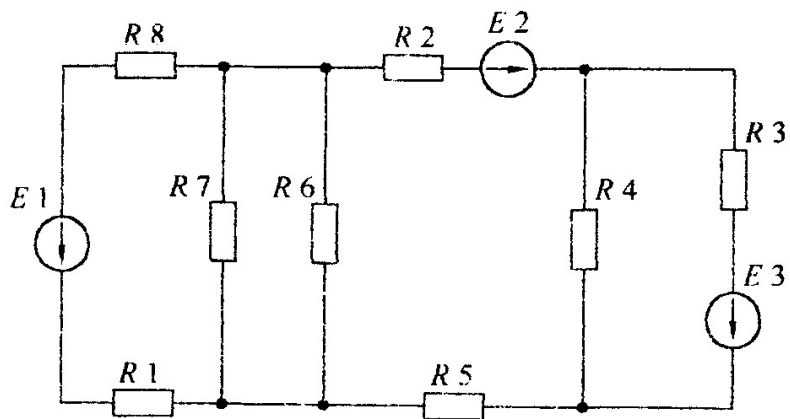


Рис. 18.

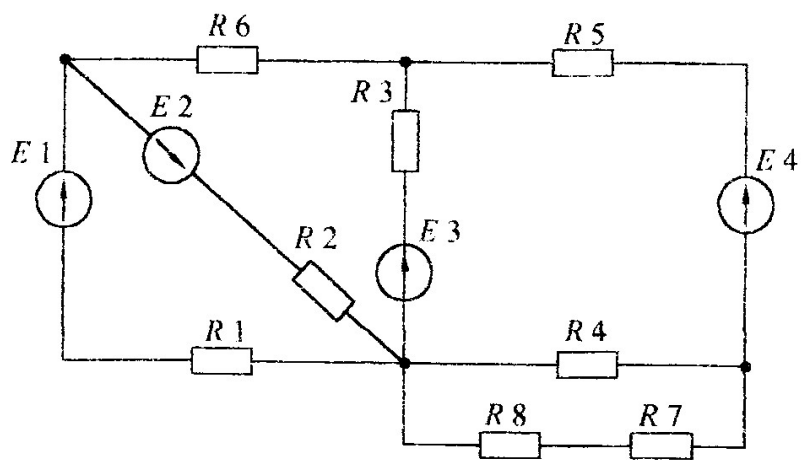


Рис. 19.

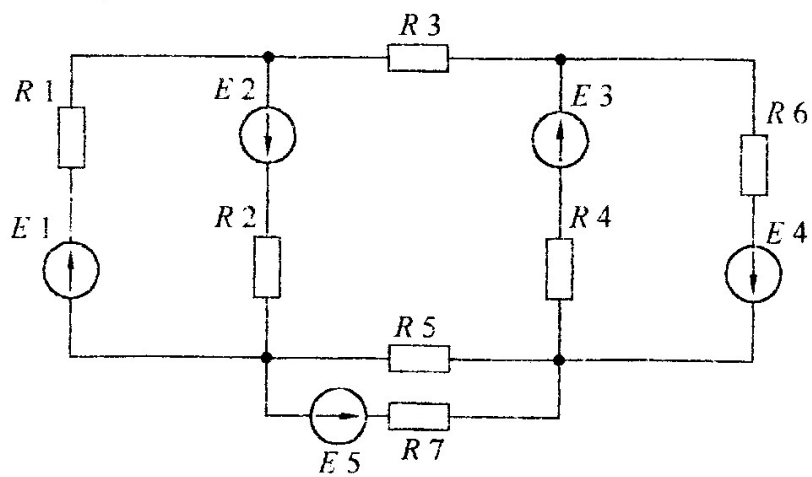


Рис. 20

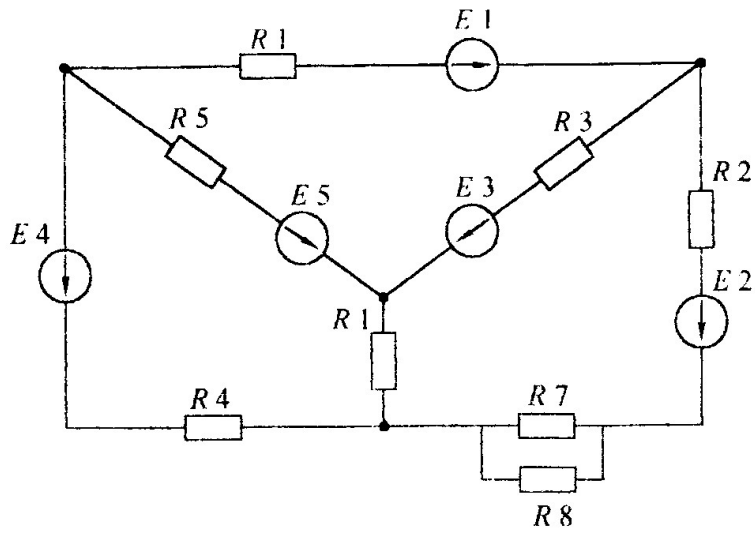


Рис. 21

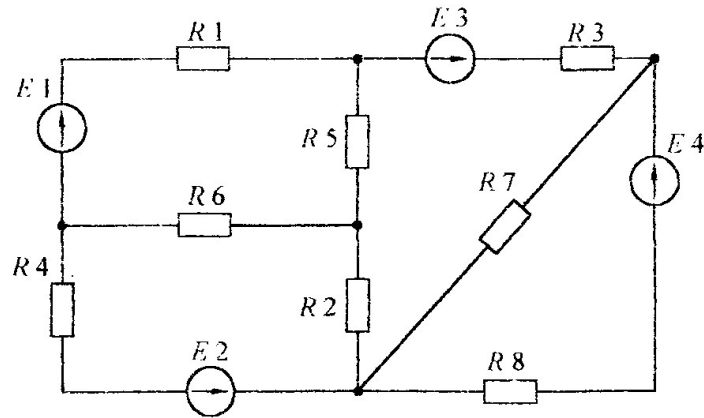


Рис. 22.

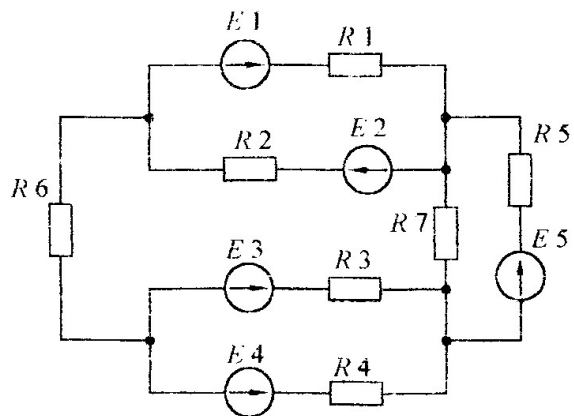


Рис. 23.

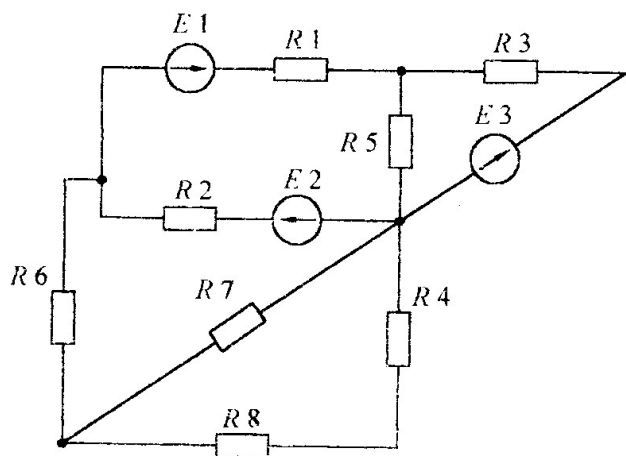


Рис. 24

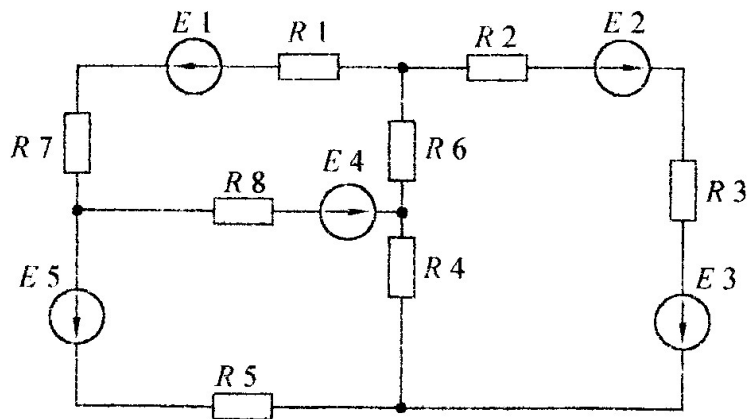


Рис. 25

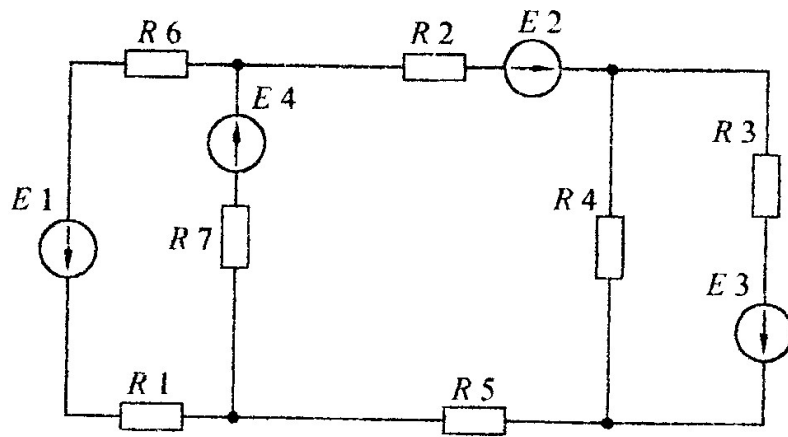


Рис. 26.

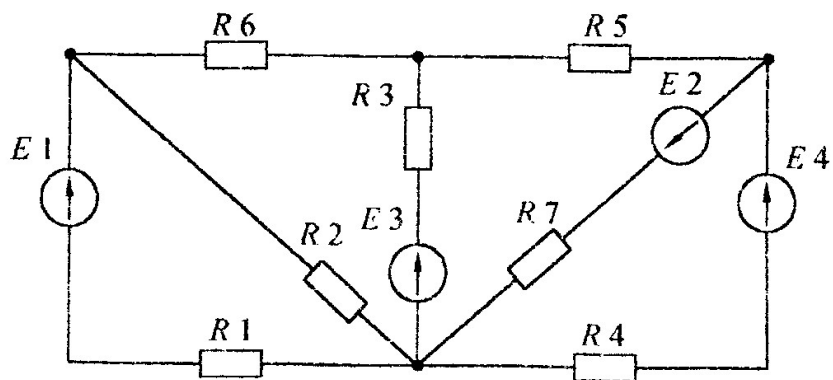


Рис. 27.

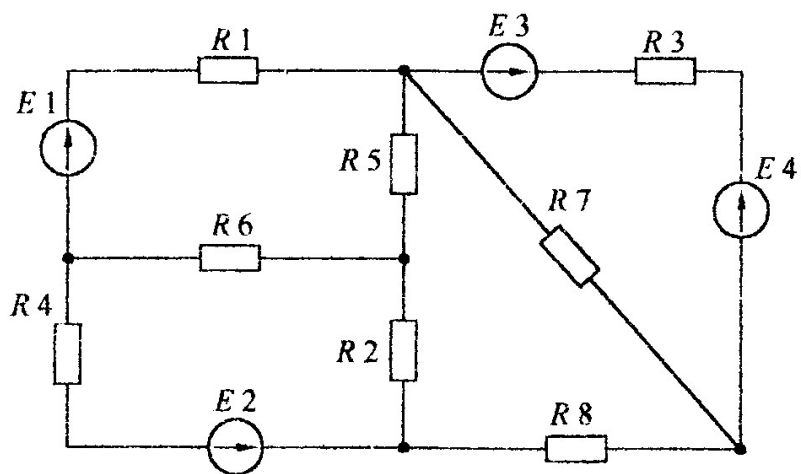


Рис. 28.

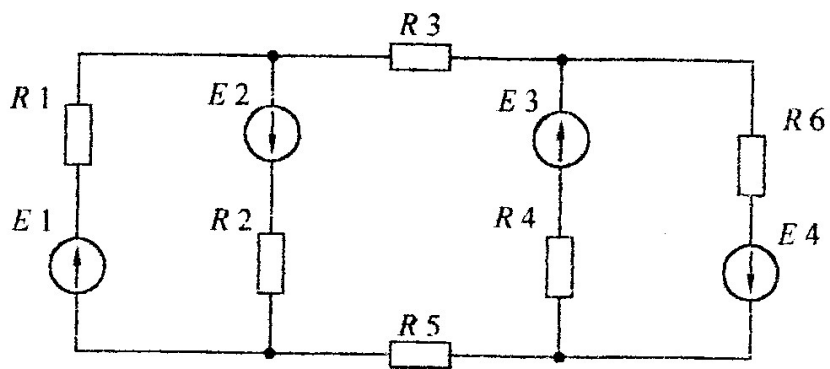


Рис. 29.

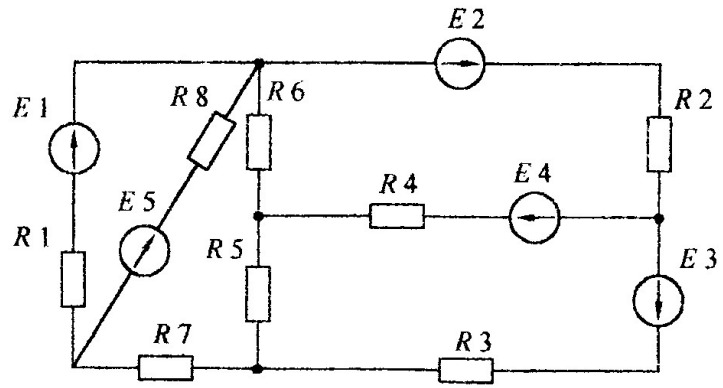


Рис. 30

Значения сопротивлений и э.д.с.

| № ри- сун- ка | № ва- рианта | R1, Ом | R2, Ом | R3, Ом | R4, Ом | R5, Ом | R6, Ом | R7, Ом | R8, Ом | E1, В | E2, В | E3, В | E4, В | E5, В |
|------------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 1 | 10,8 | 13,5 | 16,2 | 18,3 | 13 | 1,8 | 15,3 | 10,3 | 23 | 27,5 | 32 | 36,5 | – |
| | 2 | 13,5 | 2,7 | 16,2 | 10,8 | 16,5 | 12 | 18,2 | 10 | 27,5 | 9,5 | 23 | 32 | – |
| | 3 | 16,2 | 27 | 2,7 | 18,9 | 7 | 2,6 | 17,8 | 7,6 | 32 | 50 | 9,5 | 36,5 | – |
| | 4 | 18,9 | 13,5 | 2,7 | 2,7 | 14,4 | 3,5 | 21 | 23,2 | 36,5 | 27,5 | 9 | 9,5 | – |
| | 5 | 27 | 2,7 | 18,9 | 13,5 | 9,4 | 1,7 | 23,7 | 2,8 | 50 | 9,5 | 36,5 | 27,5 | – |
| 2 | 1 | 8,2 | 16,3 | 40,6 | 40 | 46 | 103 | 92,3 | – | 23,6 | 32,7 | 77,7 | 93,1 | – |
| | 2 | 70,4 | 67,7 | 6,5 | 30 | 7,3 | 25,6 | 74 | – | 127,1 | 122,8 | 19,2 | 41,7 | – |
| | 3 | 40,6 | 37,9 | 62,3 | 17,3 | 6,5 | 47,8 | 134,6 | – | 77,7 | 73,6 | 113,8 | 68,7 | – |
| | 4 | 37,9 | 35,2 | 13,4 | 10,4 | 92,7 | 189,7 | 73,2 | – | 73,2 | 77,5 | 68,7 | 113,8 | – |
| | 5 | 35,2 | 48,7 | 37,9 | 21,2 | 16,1 | 82,7 | 79,2 | – | 68,7 | 98,3 | 73,2 | 77 | – |
| 3 | 1 | 40 | 35,9 | 2,8 | 8,2 | 39,3 | 33,9 | 100,3 | 33,2 | 137 | 100 | 41,5 | 19,8 | 28,9 |
| | 2 | 17,2 | 49,4 | 65,8 | 75,9 | 19,1 | 10 | 20,6 | 60,3 | 100 | 64 | 73,5 | 128 | 141,5 |
| | 3 | 33,2 | 40 | 35,9 | 8,2 | 49 | 40 | 90,6 | 137,6 | 132 | 32 | 2,8 | 28,8 | 19,8 |
| | 4 | 49,2 | 15,2 | 12 | 75,9 | 67,8 | 19 | 40,2 | 20,6 | 164 | 37 | 100 | 128 | 128 |
| | 5 | 44 | 63,7 | 33,8 | 56,9 | 18 | 17,3 | 50,6 | 15,2 | 173 | 112,4 | 63,5 | 109,1 | 15,7 |
| 4 | 1 | 16,1 | 21,9 | 67,8 | 97,3 | 97,5 | 18,2 | 31,6 | – | 128,7 | 56,6 | 123,4 | 182,7 | – |
| | 2 | 100,3 | 9,7 | 27,3 | 67 | 48,7 | 77,2 | 13,5 | – | 187 | 173,5 | 65,7 | 133,2 | – |
| | 3 | 8,3 | 65,9 | 57,6 | 98 | 27,3 | 115,9 | 36,5 | – | 33,9 | 128,6 | 115,5 | 169,2 | – |
| | 4 | 78,6 | 48 | 32,1 | 51,4 | 77 | 41,2 | 69,3 | – | 151 | 101,7 | 74,5 | 106,7 | – |
| | 5 | 21,9 | 51,6 | 62,2 | 100,3 | 100,7 | 29,8 | 33 | – | 56,6 | 106,9 | 124,5 | 127,9 | – |
| 5 | 1 | 43,9 | 55,1 | 84,2 | 81,5 | 97,7 | 92,3 | 67,9 | 27,2 | 160,8 | 187,9 | 165,3 | 138,3 | – |
| | 2 | 115,7 | 48,3 | 45,5 | 70,6 | 89,9 | 39,8 | 84,2 | 15,8 | 142,8 | 169,8 | 84,2 | 165,3 | – |
| | 3 | 42,7 | 24,5 | 43,6 | 43,6 | 73,3 | 101,8 | 97,7 | 72,5 | 97,7 | 147,3 | 97,7 | 187,9 | – |
| | 4 | 101,6 | 19,6 | 97,7 | 73,4 | 43,6 | 57,4 | 13,8 | 92,5 | 143,3 | 97,7 | 187,9 | 41 | – |
| | 5 | 191,3 | 44,5 | 13,8 | 76,1 | 3 | 6,5 | 76,1 | 88,42 | 151,8 | 30,1 | 14,8 | 151,8 | – |
| 6 | 1 | 95,1 | 48 | 40 | 46,2 | 141,7 | 46,2 | 129,7 | 53,9 | 188,5 | 174 | 184 | – | – |
| | 2 | 37 | 37,5 | 54,9 | 33,4 | 18,3 | 111,8 | 204,3 | 102,6 | 175 | 184 | 116 | – | – |
| | 3 | 5,8 | 16 | 15,1 | 34,4 | 20 | 87,4 | 102,3 | 279,2 | 39,7 | 80 | 120,9 | – | – |
| | 4 | 43,7 | 34,4 | 41,7 | 50 | 179,4 | 99 | 100,3 | 102,8 | 156,9 | 50,5 | 197,5 | – | – |
| | 5 | 16,6 | 50 | 18,3 | 20 | 144,7 | 100 | 199,7 | 50,5 | 57,8 | 197,5 | 93,8 | – | – |

Продолжение табл.

| № ри- сун- ка | № ва- ри- анта | R1, Ом | R2, Ом | R3, Ом | R4, Ом | R5, Ом | R6, Ом | R7, Ом | R8, Ом | E1, В | E2, В | E3, В | E4, В | E5, В |
|------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 7 | 1 | 87,1 | 48 | 52 | 3,3 | 150 | 259 | 204,4 | – | 185,3 | 203,3 | 126,7 | 45,5 | – |
| | 2 | 98 | 73,6 | 89,8 | 76,3 | 173,9 | 144,7 | 143,2 | – | 203,3 | 162,5 | 189 | 167,1 | – |
| | 3 | 84,4 | 92,6 | 30,7 | 24,9 | 73,9 | 187,1 | 112,2 | – | 180,9 | 194,2 | 81,6 | 81,6 | – |
| | 4 | 92,7 | 98 | 11,5 | 33,3 | 201,1 | 188,9 | 175 | – | 194,5 | 203,5 | 95,1 | 95,1 | – |
| | 5 | 65,8 | 84,2 | 46,1 | 24,9 | 97 | 279,4 | 102,4 | – | 179 | 180,3 | 81,6 | 81,6 | – |
| 8 | 1 | 100 | 79,6 | 8,7 | 20 | 339 | 327,5 | 24 | – | 213,5 | 176,6 | 59,9 | 18,3 | – |
| | 2 | 79,3 | 92,1 | 67,4 | 4,7 | 355 | 295,7 | 4,6 | – | 176,5 | 199,8 | 58,2 | 159,7 | – |
| | 3 | 73,2 | 44 | 33,3 | 46,9 | 284 | 377,5 | 41,1 | – | 167,9 | 118,9 | 99,6 | 190,4 | – |
| | 4 | 11,5 | 25,4 | 92,3 | 25 | 378,5 | 373 | 43,7 | – | 64,5 | 199,7 | 86,5 | 158,9 | – |
| | 5 | 8,8 | 52,1 | 79,1 | 18,9 | 349 | 376,5 | 15,1 | – | 59,8 | 131 | 76,9 | 100,3 | – |
| 9 | 1 | 44,1 | 95,5 | 63,1 | 9 | 293,7 | 264,1 | 330,2 | – | 128,7 | 214,2 | 160,1 | 70 | – |
| | 2 | 6,3 | 71,1 | 92,2 | 369 | 279,6 | 276,5 | 3,6 | – | 65,5 | 173,3 | 61 | 200,7 | – |
| | 3 | 57,7 | 41,7 | 11,4 | 98,2 | 381,9 | 239,7 | 269,1 | – | 151,1 | 124,1 | 74,5 | 218 | – |
| | 4 | 25,5 | 92,8 | 22,5 | 87,4 | 265,3 | 303 | 97 | – | 209,7 | 303 | 92,5 | 200,7 | – |
| | 5 | 79,3 | 38,7 | 0,9 | 71,2 | 339,6 | 274,6 | 295 | – | 187,2 | 119,1 | 56,3 | 173,1 | – |
| 10 | 1 | 68,6 | 11,8 | 65,9 | 76,1 | 150 | 300,9 | 876,9 | – | 174,1 | 79 | 169 | 187,6 | – |
| | 2 | 84,7 | 55,3 | 19,9 | 79,1 | 245,8 | 140 | 871,3 | – | 201,4 | 151,8 | 93,1 | 192,9 | – |
| | 3 | 82,9 | 30,1 | 46,2 | 71,9 | 168,2 | 183,9 | 878,5 | – | 196,2 | 111,2 | 138,4 | 178,2 | – |
| | 4 | 14,2 | 25,5 | 95,2 | 46,5 | 349,7 | 204 | 888,7 | – | 84,1 | 102,2 | 212,6 | 138,7 | – |
| | 5 | 71,5 | 6 | 44,8 | 95,1 | 240,7 | 284,4 | 856,7 | – | 178,2 | 70,8 | 133,2 | 219,4 | – |
| 11 | 1 | 14,7 | 30,4 | 17,4 | 268 | 253,6 | 682,1 | 1 | 33,1 | 89,3 | 170,4 | 92,3 | 66,6 | – |
| | 2 | 36,7 | 20 | 22,5 | 254,6 | 205,5 | 722 | 14,4 | 24,9 | 125,9 | 138,9 | 102,2 | 89,8 | – |
| | 3 | 6,4 | 32,5 | 9,9 | 201 | 234,3 | 727,6 | 68,2 | 30,3 | 75,8 | 152,5 | 80,9 | 179,7 | – |
| | 4 | 47,1 | 31,3 | 30 | 193 | 168,7 | 680,6 | 90,4 | 40,9 | 143,4 | 184,5 | 116,6 | 215,2 | – |
| | 5 | 11,9 | 43 | 28,8 | 166,7 | 149,6 | 786,2 | 63,1 | 50 | 84,3 | 220 | 111,7 | 170,9 | – |
| 12 | 1 | 25,3 | 20,1 | 30,1 | 57,8 | 124,3 | 35,5 | 28,5 | – | 171,6 | 103,8 | 94,2 | 166,3 | – |
| | 2 | 44 | 14,6 | 91,4 | 28,2 | 216,8 | 54,7 | 76,4 | – | 234,3 | 94,5 | 139,8 | 117,2 | – |
| | 3 | 43,7 | 71,2 | 16,9 | 49,5 | 178,5 | 50 | 10,1 | – | 255,5 | 189 | 80,8 | 153,2 | – |
| | 4 | 31 | 90,2 | 55,1 | 165 | 40,9 | 47,8 | 189,6 | – | 189 | 220,3 | 112,3 | 148,6 | – |
| | 5 | 22,2 | 95,5 | 173,1 | 25,4 | 157,7 | 27,8 | 121,1 | – | 123,4 | 229,7 | 189,4 | 112,5 | – |

Продолжение табл.

| № ри- сун- ка | № ва- ри- анта | R1, Ом | R2, Ом | R3, Ом | R4, Ом | R5, Ом | R6, Ом | R7, Ом | R8, Ом | E1, В | E2, В | E3, В | E4, В | E5, В |
|------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 13 | 1 | 12,5 | 55,3 | 25,6 | 63,4 | 646,9 | 685,7 | 10,4 | – | 113,1 | 167,2 | 117,6 | 1807 | – |
| | 2 | 34 | 82,7 | 28,7 | 33,1 | 637,7 | 640,9 | 43,5 | – | 203,6 | 212,9 | 122,3 | 131,2 | – |
| | 3 | 45,5 | 66,7 | 28 | 49,9 | 651,3 | 613,7 | 45,9 | – | 255,5 | 185,2 | 122,5 | 158,9 | – |
| | 4 | 31,2 | 14,9 | 39,5 | 1,2 | 689,2 | 672,8 | 50 | – | 212,2 | 99,9 | 140,3 | 77,3 | – |
| | 5 | 39,7 | 9,2 | 63,1 | 58,8 | 642,5 | 654,8 | 31,3 | – | 194,6 | 90,7 | 180,3 | 171,2 | – |
| 14 | 1 | 26,5 | 52,7 | 31,8 | 141,6 | 26,2 | 23,4 | 28,4 | 7,2 | 163,4 | 167,5 | 127,3 | 176,9 | – |
| | 2 | 47,6 | 1,3 | 39,3 | 29,7 | 399,5 | 31,7 | 51,3 | 3,8 | 244,8 | 82,4 | 145 | 181,4 | – |
| | 3 | 39,7 | 79,2 | 1,4 | 33,7 | 186,9 | 30 | 29,7 | 4,6 | 194,8 | 213,4 | 82,7 | 185,2 | – |
| | 4 | 25,6 | 9,8 | 50 | 51,1 | 131,6 | 38,7 | 32,5 | 7,8 | 176 | 93,5 | 163,2 | 231,8 | – |
| | 5 | 53,7 | 28,5 | 41,7 | 36,2 | 138,2 | 56,7 | 44,2 | 2,8 | 244,7 | 127 | 149,8 | 217,2 | – |
| 15 | 1 | 42,7 | 39,1 | 44,4 | 839,5 | 61,4 | 792,1 | 80 | – | 165,7 | 160,9 | 169,4 | 196,1 | 228,2 |
| | 2 | 101,1 | 80,3 | 53,3 | 731,5 | 90,2 | 773,4 | 69,5 | – | 264,2 | 228 | 183,2 | 246,1 | 210,9 |
| | 3 | 53,2 | 69,1 | 12,8 | 859,1 | 53,7 | 786,3 | 66,9 | – | 183,2 | 210,3 | 115 | 183,1 | 205,8 |
| | 4 | 77,7 | 53,1 | 69,4 | 738,4 | 80,9 | 682,7 | 55,7 | – | 223,8 | 183,2 | 210,1 | 228,7 | 187,6 |
| | 5 | 66,5 | 83,6 | 61,6 | 786,6 | 80,9 | 729,8 | 90 | – | 205,1 | 237,5 | 196,1 | 228,9 | 246 |
| 16 | 1 | 58,7 | 20 | 61,6 | 99,5 | 42,7 | 1037 | 979,9 | – | 212,5 | 149,4 | 217,5 | 280,8 | 185,2 |
| | 2 | 15,7 | 75,3 | 88,9 | 10,9 | 91,3 | 998,6 | 1021 | 150 | 140,2 | 240,1 | 262,8 | 131,6 | 276 |
| | 3 | 12,5 | 29,6 | 26,5 | 75,9 | 96,1 | 1031,5 | 1028,8 | | 136,1 | 163,7 | 158,7 | 240,9 | 276,1 |
| | 4 | 4,6 | 85,1 | 72,1 | 52,3 | 98,8 | 985 | 1009,9 | | 112,7 | 258,1 | 235,8 | 203,4 | 262,2 |
| | 5 | 83,7 | 58,5 | 1,9 | 12,6 | 66,7 | 10547,7 | 1022,4 | | – | 253,8 | 212,1 | 118,5 | 136,9 |
| 17 | 1 | 76,4 | 73,5 | 33,4 | 30,5 | 263,7 | 254,9 | 269 | | 38,4 | 177,5 | 173 | 105,4 | 100,9 |
| | 2 | 25,4 | 14,8 | 68,1 | 95,5 | 294,2 | 253,7 | 248,5 | 46,5 | 91 | 73,4 | 164,8 | 109,8 | – |
| | 3 | 11,6 | 65,2 | 53,2 | 84,7 | 238 | 282,7 | 265 | 72,1 | 69,3 | 159,9 | 137,4 | 199,6 | – |
| | 4 | 57,1 | 63,3 | 87,1 | 14,9 | 254 | 289,4 | 233,8 | 100 | 146,6 | 155,5 | 195,8 | 73,1 | – |
| | 5 | 92,7 | 25,5 | 98,4 | 41,4 | 261,8 | 243,5 | 237,5 | 34 | 204,9 | 91,9 | 213,2 | 118,1 | – |
| 18 | 1 | 31,5 | 47,7 | 33,3 | 256,7 | 213,1 | 214 | 483,6 | 419,8 | 136,5 | 164,8 | 141 | – | – |
| | 2 | 20,3 | 17,3 | 39,5 | 315,2 | 204,9 | 255,1 | 436,6 | 410 | 118,2 | 114,3 | 150,4 | – | – |
| | 3 | 39,1 | 32,2 | 77,7 | 266,4 | 218,8 | 219,9 | 451,3 | 429,8 | 150,1 | 123,1 | 213,4 | – | – |
| | 4 | 71,1 | 50,3 | 31,1 | 23,4 | 234,1 | 212,9 | 188,4 | 477,6 | 413,2 | 204,4 | 135,6 | – | – |
| | 5 | 85,5 | 33,3 | 6,7 | 239,5 | 252,2 | 210 | 437,4 | 442,5 | 227,1 | 141,4 | 96,4 | – | – |

Продолжение табл.

| № ри- сун- ка | № ва- ри- ан- та | R1, Ом | R2, Ом | R3, Ом | R4, Ом | R5, Ом | R6, Ом | R7, Ом | R8, Ом | E1, В | E2, В | E3, В | E4, В | E5, В |
|------------------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 19 | 1 | 34,2 | 142,5 | 47,7 | 1229,7 | 101,7 | 969 | 96,5 | 990,4 | 156,1 | 179,8 | 269,5 | 260,9 | – |
| | 2 | 76,5 | 101,9 | 58,2 | 1196,5 | 74,1 | 940 | 88,7 | 980,2 | 269,5 | 197,2 | 224,5 | 247,4 | – |
| | 3 | 21,8 | 63,7 | 93,1 | 1257,3 | 47,2 | 984,1 | 42,7 | 995,1 | 206,3 | 256,3 | 179,2 | 170,5 | – |
| | 4 | 117,3 | 74,9 | 101,9 | 1174,8 | 58,6 | 997,1 | 93 | 990,2 | 224,6 | 269,6 | 197,2 | 256,9 | – |
| | 5 | 93,3 | 88,8 | 47,5 | 1227,3 | 36,9 | 993,1 | 101,4 | 998,2 | 247,1 | 179,8 | 161,3 | 269 | – |
| 20 | 1 | 50,9 | 93,7 | 53,6 | 74,9 | 101,1 | 1725,6 | 189,6 | – | 193,3 | 229,7 | 274,5 | 261,6 | 75,3 |
| | 2 | 58,4 | 64,1 | 101,1 | 31,7 | 88,8 | 1755,4 | 202,8 | – | 211,5 | 274,8 | 157,2 | 252,9 | 28,4 |
| | 3 | 101,8 | 93,3 | 45,2 | 99,8 | 82,6 | 1673,2 | 274,9 | – | 261,3 | 180,2 | 270,1 | 243,1 | 37,9 |
| | 4 | 47,2 | 74,9 | 103,9 | 64,1 | 88,9 | 1723 | 184 | – | 229,1 | 274,1 | 2111,8 | 252 | 42 |
| | 5 | 36,9 | 82,4 | 42,6 | 39,7 | 74,5 | 823,9 | 166,6 | – | 223,1 | 175,2 | 171,9 | 229,1 | 54 |
| 21 | 1 | 26,5 | 596,9 | 55,9 | 80,1 | 674,4 | 660,8 | 83,1 | 63,9 | 153,9 | 243,9 | 203,9 | 149,2 | 48,4 |
| | 2 | 61,3 | 632,5 | 64 | 23,4 | 701,6 | 653,7 | 37,5 | 26,8 | 212,1 | 149,8 | 216,4 | 153,7 | 171,7 |
| | 3 | 53,6 | 553,8 | 66,9 | 74 | 622,7 | 653,7 | 69,5 | 53,1 | 198,8 | 234,4 | 221,6 | 198,7 | 225,2 |
| | 4 | 12,4 | 516,5 | 66,7 | 53,1 | 516,7 | 651,9 | 66,8 | 89,7 | 131,1 | 198 | 221,3 | 225,6 | 257,4 |
| | 5 | 53,6 | 544,4 | 99,6 | 61,7 | 632,5 | 660,7 | 77 | 80,7 | 198,2 | 112,5 | 275,4 | 243,1 | 239,9 |
| 22 | 1 | 67,5 | 12,8 | 69,5 | 321,7 | 382,9 | 56,5 | 795,8 | 7955,2 | 236,4 | 146,9 | 272,3 | 164,6 | – |
| | 2 | 86,7 | 77,9 | 88,8 | 354 | 307,1 | 23,1 | 763,5 | 798,6 | 268,7 | 286,3 | 164,3 | 223,5 | – |
| | 3 | 77,6 | 61,5 | 83,5 | 396,3 | 328,9 | 4,5 | 791,4 | 865,4 | 254,6 | 267,3 | 263,4 | 133,9 | – |
| | 4 | 15,4 | 64,2 | 21,8 | 434 | 359,8 | 102,4 | 753,8 | 748,5 | 151,3 | 232,1 | 160 | 295 | – |
| | 5 | 40,2 | 42,4 | 90,6 | 422,4 | 306,2 | 64,5 | 781,2 | 74,7 | 191,3 | 196,3 | 286,5 | 136,9 | – |
| 23 | 1 | 18,5 | 64,1 | 15 | 23,7 | 1183 | 1065,7 | 37,9 | – | 227,9 | 145,2 | 259,3 | 174,2 | 386,5 |
| | 2 | 2,6 | 50,8 | 83,6 | 45,3 | 1068,7 | 1145,3 | 34,5 | – | 153,4 | 204,9 | 209,4 | 198 | 445,4 |
| | 3 | 12,6 | 85,3 | 37,9 | 34,3 | 1093,8 | 1090 | 45,3 | – | 141,4 | 263,4 | 182,5 | 177,7 | 195,5 |
| | 4 | 4,4 | 66,7 | 34,5 | 18,7 | 1158,2 | 1082,4 | 25,1 | – | 127,8 | 441,3 | 214,8 | 155,6 | 297,7 |
| | 5 | 85,4 | 14,5 | 50,4 | 53,1 | 1-69 | 1184 | 36,7 | – | 214,6 | 331,5 | 212,4 | 177,8 | 311,6 |
| 24 | 1 | 20,7 | 39,2 | 42,1 | 398,5 | 284 | 440,9 | 449,3 | 24,1 | 164,3 | 155,9 | 225,7 | – | – |
| | 2 | 50,7 | 61,4 | 28,7 | 414,2 | 165,7 | 339,7 | 212,3 | 17,8 | 226,8 | 331,8 | 158,7 | – | – |
| | 3 | 77,9 | 12,3 | 36,5 | 99,9 | 345,7 | 218,9 | 189,4 | 1,2 | 333,5 | 767,8 | 212 | – | – |
| | 4 | 89,1 | 87,4 | 22,8 | 100 | 444,9 | 117,7 | 113,9 | 18,6 | 221,9 | 335,7 | 129,1 | – | – |
| | 5 | 99 | 27,5 | 13,9 | 101,7 | 229 | 227,6 | 444,9 | 99,1 | 445,7 | 111,3 | – | – | – |

Окончание табл.

| № ри- сун- ка | № ва- ри- ан- та | R1, Ом | R2, Ом | R3, Ом | R4, Ом | R5, Ом | R6, Ом | R7, Ом | R8, Ом | E1, В | E2, В | E3, В | E4, В | E5, В |
|------------------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 25 | 1 | 40 | 35,9 | 22,8 | 8,2 | 39,3 | 33,9 | 100,3 | 33,2 | 137 | 100 | 41,5 | 19,8 | 28,9 |
| | 2 | 17,2 | 49,4 | 65,8 | 75,9 | 19,1 | 10 | 20,6 | 60,3 | 100 | 64 | 73,5 | 128 | 141,5 |
| | 3 | 33,2 | 40 | 35,9 | 8,2 | 49 | 40 | 90,6 | 137,6 | 132 | 32 | 2,8 | 28,8 | 19,8 |
| | 4 | 49,2 | 15,2 | 12 | 75,9 | 67,8 | 19 | 40,2 | 20,6 | 164 | 37 | 100 | 128 | 128 |
| | 5 | 44 | 63,7 | 33,8 | 56,9 | 18 | 17,3 | 50,6 | 15,2 | 173 | 112,4 | 63,5 | 109,1 | 15,7 |
| 26 | 1 | 31,5 | 47,7 | 33,3 | 256,7 | 213,1 | 419,8 | 483,6 | – | 136,5 | 164,8 | 141 | 105,4 | – |
| | 2 | 20,3 | 17,3 | 39,5 | 315,2 | 204,9 | 410 | 436,6 | – | 118,2 | 114,3 | 150,4 | 164,8 | – |
| | 3 | 39,1 | 32,2 | 77,7 | 266,4 | 218,8 | 429,8 | 451,3 | – | 150,1 | 123,1 | 213,4 | 137,4 | – |
| | 4 | 71,1 | 50,3 | 31,1 | 23,4 | 234,1 | 477,6 | 188,4 | – | 413,2 | 204,4 | 135,6 | 195,8 | – |
| | 5 | 85,5 | 33,3 | 6,7 | 239,5 | 252,2 | 442,5 | 437,4 | – | 227,1 | 141,4 | 96,4 | 213,2 | – |
| 27 | 1 | 34,2 | 142,5 | 47,7 | 229,7 | 101,7 | 969 | 96,5 | – | 156,1 | 179,8 | 269,5 | 260,9 | – |
| | 2 | 76,5 | 101,9 | 58,2 | 196,5 | 74,1 | 940 | 88,7 | – | 269,5 | 197,2 | 224,5 | 247,4 | – |
| | 3 | 21,8 | 63,7 | 93,1 | 257,3 | 47,2 | 984,1 | 42,7 | – | 206,3 | 256,3 | 179,2 | 170,5 | – |
| | 4 | 117,3 | 74,9 | 101,9 | 174,8 | 58,6 | 997,1 | 90,3 | – | 224,6 | 269,6 | 197,2 | 256,9 | – |
| | 5 | 93,3 | 88,8 | 47,5 | 227,3 | 36,9 | 993,1 | 101,4 | – | 247,1 | 179,8 | 161,3 | 269 | – |
| 28 | 1 | 67,5 | 12,8 | 69,5 | 321,7 | 382,9 | 56,5 | 795,8 | 795,2 | 236,4 | 146,9 | 272,3 | 164,6 | – |
| | 2 | 86,7 | 77,9 | 88,8 | 354 | 307,1 | 23,1 | 763,5 | 798,6 | 268,7 | 286,3 | 164,3 | 223,5 | – |
| | 3 | 77,6 | 61,5 | 83,5 | 396,3 | 328,9 | 4,5 | 791,4 | 865,4 | 254,6 | 267,3 | 263,4 | 133,9 | – |
| | 4 | 15,4 | 64,2 | 21,8 | 434 | 359,8 | 102,4 | 753,8 | 748,5 | 151,3 | 232,1 | 160 | 295 | – |
| | 5 | 40,2 | 42,4 | 96 | 422,4 | 306,2 | 64,5 | 781,2 | 74,7 | 191,3 | 196,3 | 286,5 | 136,9 | – |
| 29 | 1 | 50,9 | 93,7 | 53,6 | 74,9 | 101,1 | 172,6 | – | – | 193,3 | 229,7 | 274,5 | 261,6 | – |
| | 2 | 58,4 | 64,1 | 101,1 | 31,7 | 88,8 | 175,4 | – | – | 211,5 | 274,8 | 157,2 | 252,9 | – |
| | 3 | 101,8 | 93,3 | 45,2 | 99,8 | 82,6 | 167,2 | – | – | 261,3 | 180,2 | 270,1 | 243,1 | – |
| | 4 | 47,2 | 74,9 | 103,9 | 64,1 | 88,9 | 172,3 | – | – | 229,1 | 274,1 | 211,8 | 252 | – |
| | 5 | 36,9 | 82,4 | 42,6 | 39,7 | 74,5 | 823,9 | – | – | 223,1 | 175,2 | 171,9 | 229,1 | – |
| 30 | 1 | 42,7 | 39,1 | 44,4 | 839,5 | 61,4 | 792,1 | 80 | 28,4 | 165,7 | 160,9 | 169,4 | 196,1 | 228,2 |
| | 2 | 101,1 | 80,3 | 53,3 | 731,5 | 90,2 | 773,4 | 69,5 | 51,3 | 264,2 | 228 | 183,2 | 246,1 | 210,9 |
| | 3 | 53,2 | 69,1 | 12,8 | 859,1 | 53,7 | 786,3 | 66,9 | 29,7 | 183,2 | 210,3 | 115 | 183,1 | 205,8 |
| | 4 | 77,7 | 53,1 | 69,4 | 738,4 | 80,9 | 682,7 | 55,7 | 32,5 | 223,8 | 183,2 | 210,1 | 228,7 | 187,6 |
| | 5 | 66,5 | 83,6 | 61,6 | 786,6 | 80,9 | 729,8 | 90 | 44,2 | 205,1 | 237,2 | 196,1 | 228,9 | 246 |

Исходные данные для решения задачи 2

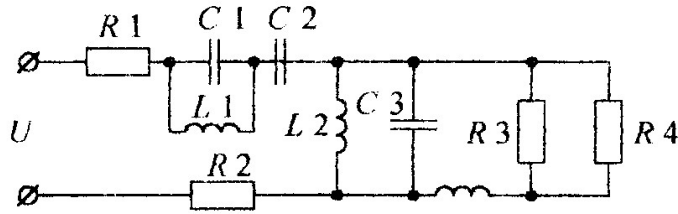


Рис. 1

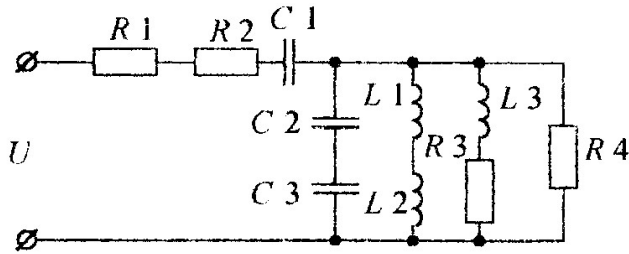


Рис. 2

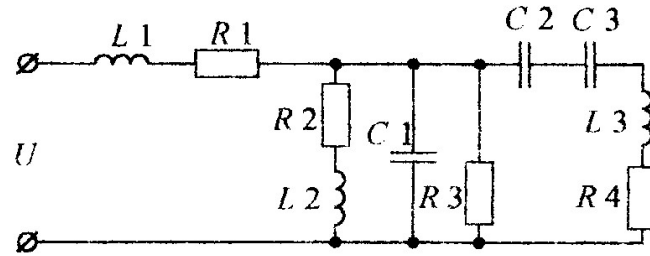


Рис. 3

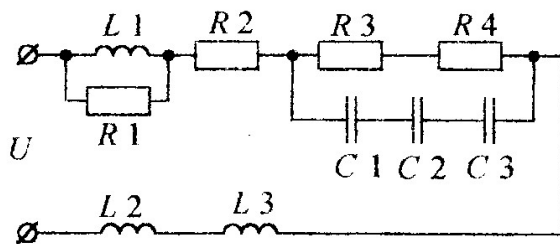


Рис. 4

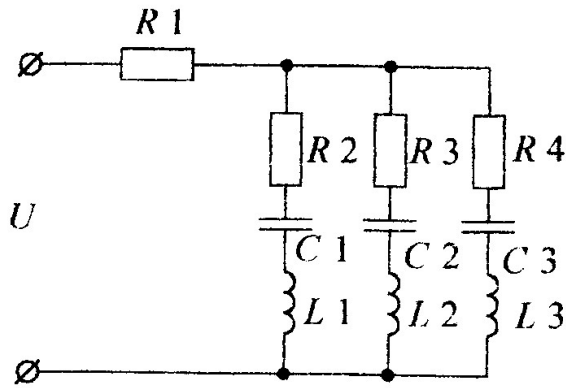


Рис. 5

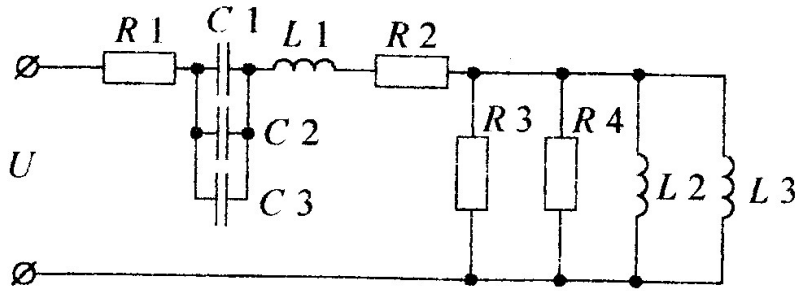


Рис. 6

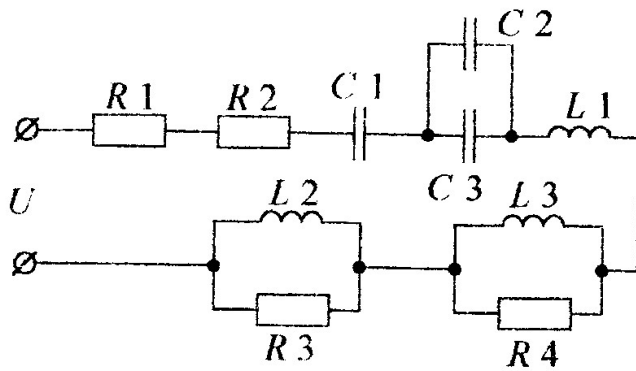


Рис. 7

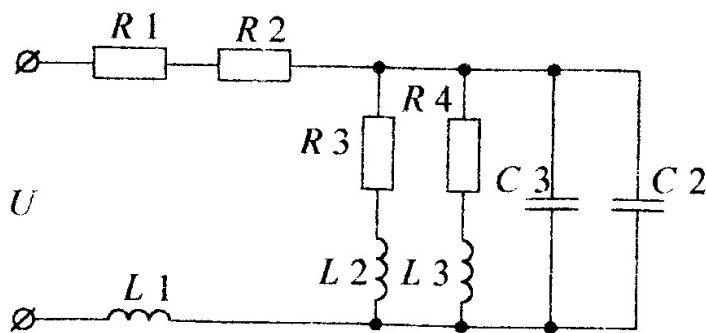


Рис. 8

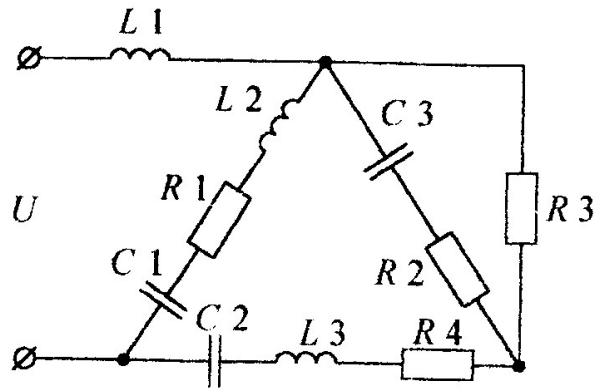


Рис. 9.

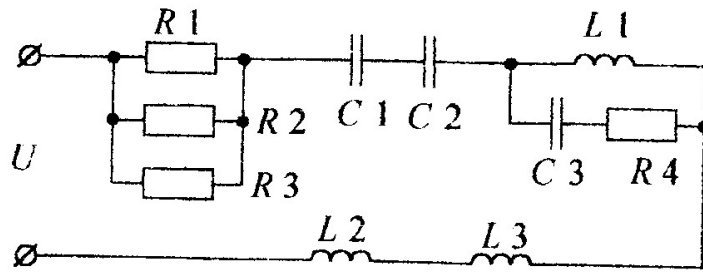


Рис. 10

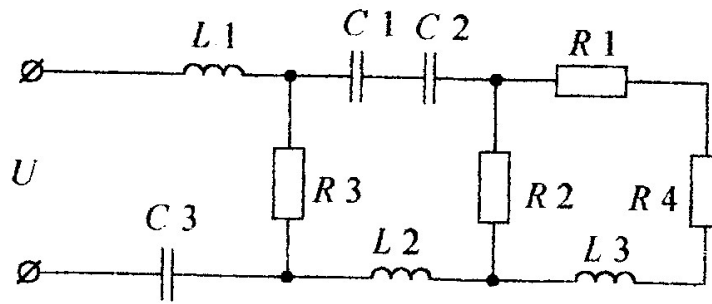


Рис. 11

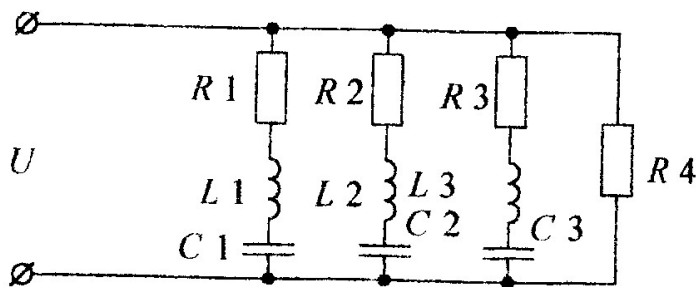


Рис. 12.

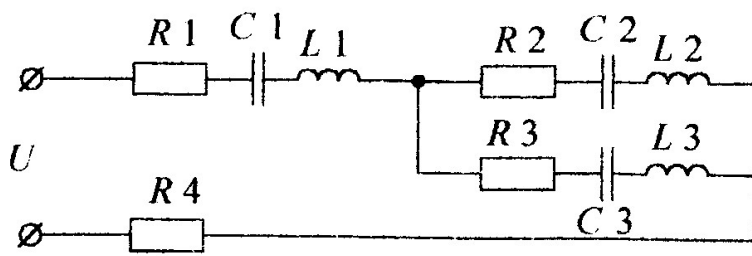


Рис. 13

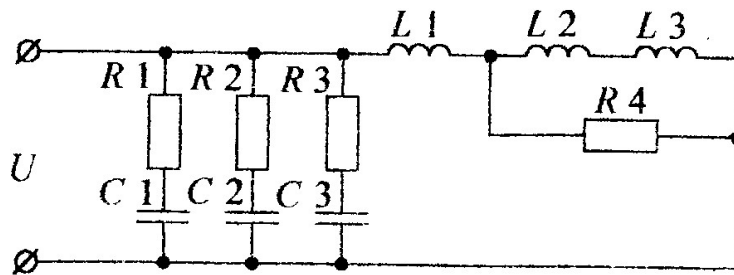


Рис. 14

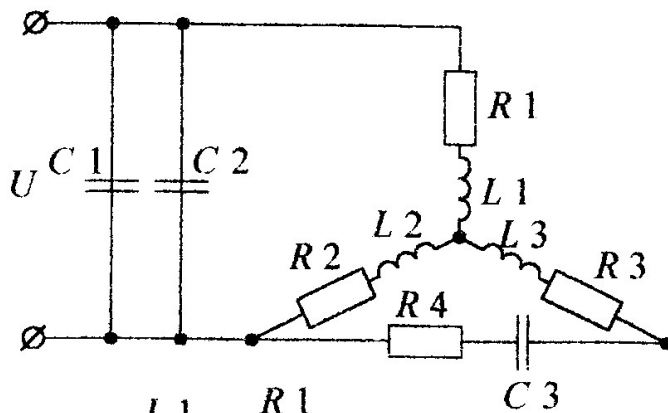


Рис. 15

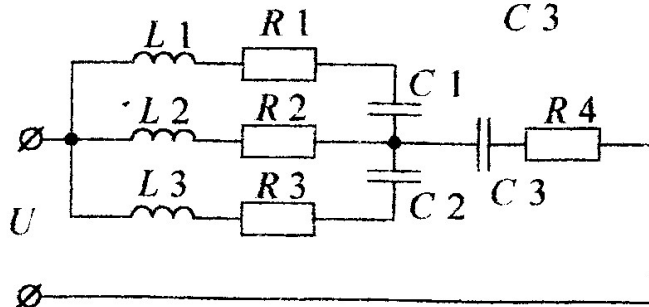


Рис. 16

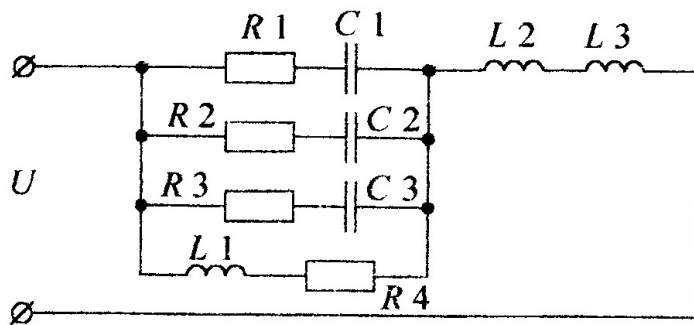


Рис. 17

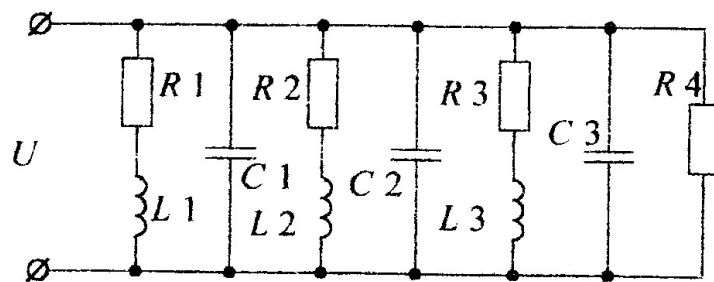


Рис. 18

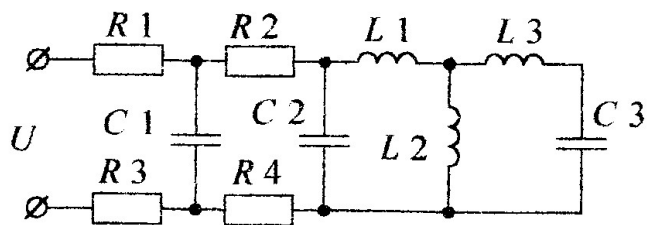


Рис. 19

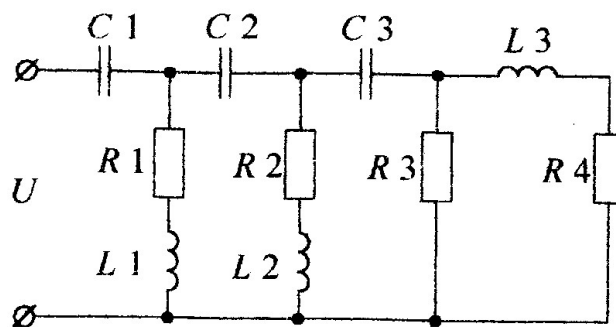


Рис. 20

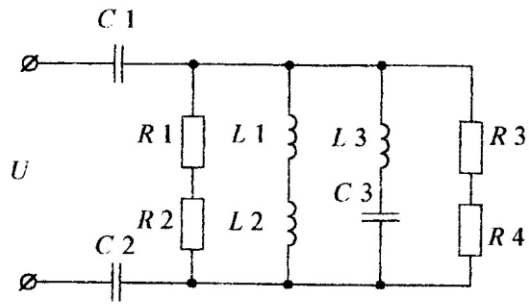


Рис. 21

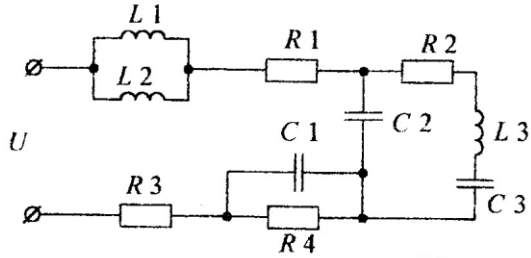


Рис. 22

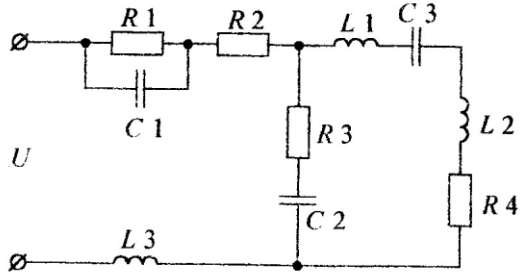


Рис. 23

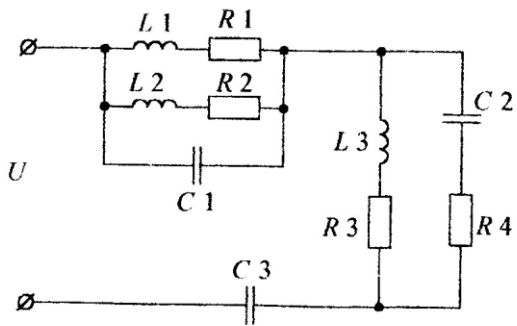


Рис. 24

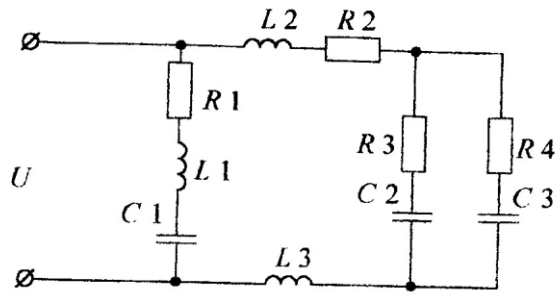


Рис. 25.

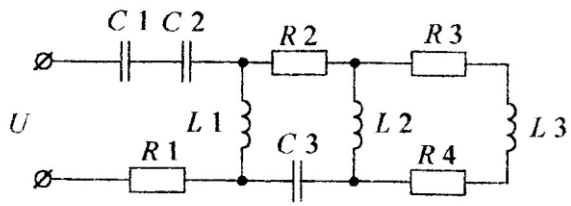


Рис. 26.

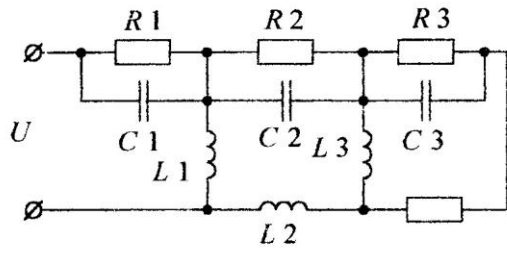


Рис. 27.

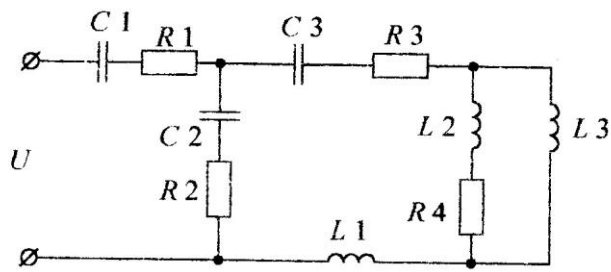


Рис. 28.

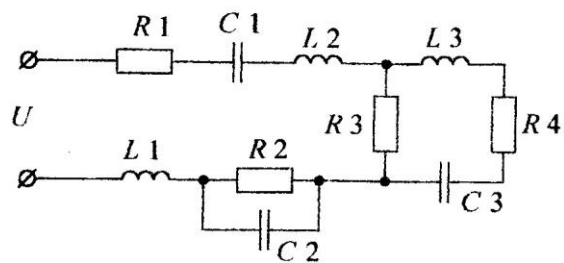


Рис. 29.

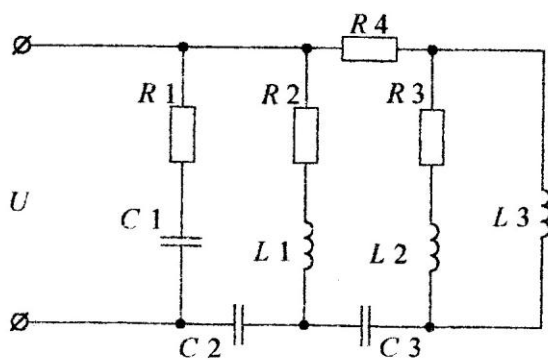


Рис. 30

Значения параметров

| № ри- сунка | № п/п | U, В | R1, Ом | R2, Ом | R3, Ом | R4, Ом | L1, мГн | L2, мГн | L3, мГн | C1, мкФ | C2, мкФ | C3, мкФ |
|-------------------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 1 | 100 | 1,8 | – | 4,1 | 3,2 | 115 | 31,2 | – | 637 | 318 | – |
| | 2 | | 1,2 | – | 4,6 | 4,5 | – | 31,8 | – | 642 | 322 | 159 |
| | 3 | | – | 4,1 | 3,7 | 3,4 | 125 | 32,3 | – | – | 315 | – |
| | 4 | | 1,9 | – | – | 2,8 | 128 | – | – | 645 | 310 | 145 |
| | 5 | | – | – | 3,9 | 3,1 | 110 | 32,4 | – | – | 328 | 154 |
| 2 | 1 | 100 | 2,1 | 6,1 | 6,2 | 4,1 | 318 | 159 | 300 | 115 | 25 | – |
| | 2 | | 1,8 | – | 6 | 3,9 | 320 | – | 317 | 122 | 27 | 31 |
| | 3 | | 2,1 | 5,9 | – | 4,5 | 312 | 154 | – | 113 | 21 | 31 |
| | 4 | | 1,7 | – | – | 3,8 | 315 | 162 | 302 | 117 | 26 | 34 |
| | 5 | | 2,1 | 6,4 | 5,8 | 4,2 | 319 | – | – | 114 | 24 | 29 |
| 3 | 1 | 100 | 8,1 | 8 | 6,2 | 4 | 115 | 81,8 | – | 159 | 318 | – |
| | 2 | | – | 14 | 5,3 | 4,2 | 125 | 84,8 | – | 169 | 300 | – |
| | 3 | | 2,6 | 14,5 | 4,4 | – | 215 | 34,8 | – | 259 | 218 | – |
| | 4 | | 12,1 | 16 | 5,5 | 4,9 | – | 38,8 | – | 158 | 300 | – |
| | 5 | | 8,9 | 12 | 4,6 | 8,8 | 315 | – | – | 150 | 170 | – |
| 4 | 1 | 100 | 5 | 1,8 | 8,1 | – | 159 | 31,8 | 6,37 | 637 | – | – |
| | 2 | | – | 2,8 | 6,2 | – | – | 28,5 | 9,2 | 640 | 300 | – |
| | 3 | | 2,5 | – | 3,2 | – | 211 | – | 8,7 | 320 | 250 | – |
| | 4 | | 8,5 | – | 3,1 | – | 150 | 45,2 | 7,7 | 580 | – | – |
| | 5 | | 5,2 | 3,9 | 3,2 | – | – | – | 12,2 | 600 | – | – |
| 5 | 1 | 100 | 2,7 | 6,2 | – | 8,1 | 115 | 31,8 | – | 637 | 318 | – |
| | 2 | | 3,7 | – | 10,2 | 7,2 | 121 | – | – | 641 | 312 | – |
| | 3 | | – | 5,8 | 11,2 | 9,1 | 117 | 33,1 | – | – | 321 | – |
| | 4 | | – | 6,2 | – | 8,1 | 119 | 30,5 | – | 631 | 315 | – |
| | 5 | | 3,1 | 6,8 | – | – | 115 | 32,5 | – | 641 | 312 | – |
| 6 | 1 | 100 | 4 | 7,7 | 3 | – | 115 | 31,8 | – | 159 | 318 | – |
| | 2 | | 3,7 | 8,2 | 2 | 6,1 | 117 | – | – | 161 | 320 | – |
| | 3 | | 4,1 | 8,2 | – | – | 120 | 32,1 | – | 156 | 316 | – |
| | 4 | | 3,2 | 7,6 | – | 5,7 | 112 | – | – | 158 | 321 | – |
| | 5 | | 4,2 | 8,2 | 2,7 | – | 118 | – | – | 161 | 317 | – |

Продолжение табл.

| № ри- сунка | № п/п | U, В | R1, Ом | R2, Ом | R3, Ом | R4, Ом | L1, мГн | L2, мГн | L3, мГн | C1, мкФ | C2, мкФ | C3, мкФ |
|-------------------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 7 | 1 | 100 | 2,4 | 1,8 | 4 | 3,8 | 31,8 | 31,8 | 9,5 | 637 | – | 300 |
| | 2 | | 2 | – | 3,5 | 4,2 | 29,7 | 28,3 | – | 640 | – | 302 |
| | 3 | | 1,7 | 3 | – | 3,9 | – | 33 | 6,1 | 632 | 315 | 298 |
| | 4 | | 2 | 2,1 | – | – | – | – | 10,4 | 640 | 311 | 295 |
| | 5 | | – | 2 | 4,5 | 4,7 | 30,6 | 28,7 | 8,6 | – | 321 | 308 |
| 8 | 1 | 100 | 2,9 | 6,1 | 8,1 | 4,1 | 9,5 | 6,4 | 19,1 | 637 | 318 | – |
| | 2 | | 3,2 | 5,8 | 7,3 | 3,8 | – | 5,8 | 18,7 | 640 | 321 | – |
| | 3 | | 2,8 | 6 | 8,1 | – | 8,3 | 6,2 | 21,4 | – | 316 | – |
| | 4 | | 3,7 | 5,9 | 9 | 4,1 | – | 6,1 | – | 635 | 319 | – |
| | 5 | | 2,7 | 5,8 | – | – | 9,2 | 6,4 | 18,3 | 629 | 315 | – |
| 9 | 1 | 100 | – | 8,1 | 4,5 | – | 19,1 | 31,8 | 15,9 | 637 | 318 | 300 |
| | 2 | | 6,1 | – | 3,9 | 18,2 | 18,2 | – | 16,3 | 643 | 322 | 296 |
| | 3 | | 5,7 | – | 4,7 | 8,7 | 21,5 | – | 13,7 | 632 | 317 | – |
| | 4 | | 6,2 | – | – | 9,5 | 18,4 | – | 15,6 | 643 | 312 | 309 |
| | 5 | | – | 8,5 | 3,7 | 7,4 | – | 30,5 | – | 634 | 318 | 300 |
| 10 | 1 | 100 | 3,2 | – | 6,1 | 19,1 | 6,4 | 15,9 | – | 300 | 318 | 637 |
| | 2 | | – | 3 | 6,2 | 19,5 | 6 | 14,5 | – | 301 | 320 | 637 |
| | 3 | | 29 | 4 | – | 20,1 | 5,8 | 15,8 | – | 297 | 312 | 642 |
| | 4 | | 3,2 | 2,5 | 7,2 | – | 7,1 | 15,3 | – | 305 | 320 | 634 |
| | 5 | | 3 | 3 | 6,1 | 17,1 | – | 14,4 | – | 300 | 316 | 640 |
| 11 | 1 | 100 | 4,1 | 5,2 | 3,4 | 15,9 | 25 | – | – | 637 | 300 | – |
| | 2 | | 4 | – | 3,2 | 14,6 | 25 | 31,8 | – | 634 | 302 | 318 |
| | 3 | | 3,6 | – | 2,9 | – | 27 | 32 | – | 640 | 299 | 314 |
| | 4 | | 4,1 | 5,3 | – | 15,8 | – | 31,5 | – | 635 | 308 | 320 |
| | 5 | | 4,5 | – | 3 | 16,2 | 30 | 29,5 | – | – | 300 | 315 |
| 12 | 1 | 100 | 5 | 3,1 | 4 | 5,2 | 115 | 19,1 | 31,8 | 318 | 300 | – |
| | 2 | | 4,7 | – | 3,8 | 5,1 | 120 | 18,7 | 31,2 | 315 | 309 | – |
| | 3 | | 5,2 | 3 | – | 4,8 | 113 | 19,4 | 32,3 | 321 | 291 | – |
| | 4 | | – | 3,2 | 4,3 | 5,1 | 122 | 18,7 | 31,4 | 315 | 301 | – |
| | 5 | | 4,8 | 3,1 | 3,9 | – | 115 | 20,2 | 29,1 | 323 | 298 | – |

Продолжение табл.

| № ри- сунка | № п/п | U, В | R1, Ом | R2, Ом | R3, Ом | R4, Ом | L1, мГн | L2, мГн | L3, мГн | C1, мкФ | C2, мкФ | C3, мкФ |
|-------------------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 13 | 1 | 100 | 11 | 2,1 | 1,1 | 2 | 15,9 | 115 | 19,1 | 300 | 159 | 318 |
| | 2 | | – | 2,2 | 1,2 | 2 | 12,7 | 120 | 17,5 | 310 | 165 | 322 |
| | 3 | | 10,7 | – | 1,3 | 2,1 | 30,1 | 112 | 21,7 | 298 | 156 | 318 |
| | 4 | | 17,1 | 3,1 | – | 1,9 | 19,3 | 111 | 18,5 | 301 | 163 | 321 |
| | 5 | | 16,3 | 1,9 | 1,4 | – | 32,1 | 117 | 14,5 | 301 | 163 | 322 |
| 14 | 1 | 100 | 2,2 | – | 7,6 | 10,1 | 31,8 | 115 | – | 637 | 300 | 159 |
| | 2 | | 1,8 | 3,5 | 8,7 | 11 | – | 117 | – | 640 | 304 | 161 |
| | 3 | | 2,9 | 3 | – | 11,4 | 31,8 | 111 | – | 637 | 298 | – |
| | 4 | | 2 | 2,8 | 7,8 | 9,4 | 32,1 | 120 | – | 630 | 308 | 155 |
| | 5 | | 1,7 | – | 8,4 | 11,4 | – | 116 | – | 643 | 299 | 163 |
| 15 | 1 | 100 | 2,4 | 1,7 | 2,6 | 2,3 | 5,2 | 10 | 15,1 | 10,3 | 5,2 | – |
| | 2 | | – | 2,5 | 2,7 | 1,5 | 6,3 | 12,5 | 13,1 | 14,8 | 3,8 | – |
| | 3 | | 2,5 | 1,5 | 3,8 | 2,4 | – | 9,2 | 16,4 | 9,3 | 4,7 | – |
| | 4 | | 1,7 | 2 | 1,3 | 3,5 | 4,7 | 13,5 | – | 11,2 | 6,1 | – |
| | 5 | | 2,3 | 1,5 | 3,8 | 1,7 | 5,7 | 12,5 | 17,9 | 8,5 | – | – |
| 16 | 1 | 100 | 8,1 | 3,1 | 4 | 4,2 | 2 | 5 | – | 5 | 10 | – |
| | 2 | | – | 3,5 | 4,5 | 5,3 | 2,2 | 6,2 | – | 4,7 | 5,9 | – |
| | 3 | | 7,5 | – | 3,8 | 4,1 | 1,8 | 4,9 | – | 5,3 | 11 | – |
| | 4 | | 8,1 | 3,5 | – | – | 2,4 | 5,2 | – | 6,2 | 12,4 | 15 |
| | 5 | | 9,3 | – | – | – | 2 | 5,4 | – | 7,3 | 8,1 | 21 |
| 17 | 1 | 100 | 4,1 | 4,1 | 6,2 | 8 | 10,1 | – | – | 5 | 10,2 | 15,3 |
| | 2 | | 3,9 | 4,3 | 6,6 | 7,4 | 9,4 | 5,2 | – | 6,2 | 8,4 | – |
| | 3 | | 4,7 | 3,5 | – | 8,7 | 13,7 | 6,2 | – | 7,2 | – | 17,3 |
| | 4 | | 5,4 | 2,4 | 4,1 | – | – | 5,2 | – | 5,7 | 11,2 | 12,5 |
| | 5 | | 3,8 | 4,5 | 6,3 | 8,2 | 9,1 | 4,8 | – | – | 9,7 | – |
| 18 | 1 | 100 | 3 | – | 6 | 6,7 | 5,3 | – | 10 | 15 | 10 | – |
| | 2 | | – | – | 6,8 | 7,3 | 5 | – | 15 | 12 | 8 | – |
| | 3 | | 3,9 | 4,8 | 7,5 | – | – | 8,5 | 11 | 19 | 6 | – |
| | 4 | | 2,3 | 5,3 | 6,5 | – | 4,3 | 10,2 | 9,2 | 14 | 18 | – |
| | 5 | | 3,1 | 4,8 | 7,3 | – | 5,8 | 13,9 | – | 12,4 | 11 | – |

Продолжение табл.

| № ри- сунка | № п/п | U, В | R1, Ом | R2, Ом | R3, Ом | R4, Ом | L1, мГн | L2, мГн | L3, мГн | C1, мкФ | C2, мкФ | C3, мкФ |
|-------------------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 19 | 1 | 100 | 3,1 | 4,2 | 2,4 | – | 5,1 | 2,2 | 11 | 3,2 | – | – |
| | 2 | | 3 | – | 1,9 | 2,1 | 4,9 | – | 9,2 | 2,9 | 10 | – |
| | 3 | | 2,8 | 3,9 | 2,2 | 1,9 | 5 | – | 10,4 | 3 | – | – |
| | 4 | | 3,1 | 4,5 | 2 | – | 5,3 | – | 9,7 | 2,6 | 11 | – |
| | 5 | | 2,2 | 3,2 | – | 1,2 | 6,4 | – | – | 1,8 | 10 | – |
| 20 | 1 | 100 | 2,1 | – | 4,1 | 4 | 31,8 | 25 | 19,1 | 637 | – | 159 |
| | 2 | | 1,9 | 2,2 | 3,9 | 4,3 | 32,3 | – | 21,8 | 341 | 300 | – |
| | 3 | | 2 | 1,6 | 4,4 | – | 30,7 | 22 | – | 634 | 301 | 161 |
| | 4 | | 1,8 | – | – | 3,5 | 28,5 | 27 | 20,7 | 629 | – | 154 |
| | 5 | | 2,3 | 1,8 | – | – | 32,3 | 30 | – | 634 | 296 | 159 |
| 21 | 1 | 100 | 4,2 | 4 | – | 3 | 115 | 95 | 25 | – | 318 | 159 |
| | 2 | | 4,1 | 3,9 | 4,1 | 3,2 | 112 | 104 | 28 | 300 | – | 162 |
| | 3 | | 3,8 | 4,2 | 4,5 | – | 120 | – | 19 | 308 | 316 | 155 |
| | 4 | | 4 | 3,8 | 3,4 | 2,9 | 117 | 89 | – | 300 | – | 158 |
| | 5 | | 3,5 | 5,3 | – | 3 | – | 96 | 21 | – | 321 | 150 |
| 22 | 1 | 100 | 8,3 | – | 5,8 | 4,3 | 15,9 | 115 | 6,37 | 937 | – | – |
| | 2 | | 7,5 | – | 6,1 | 3,9 | 16,2 | 120 | – | 645 | – | 159 |
| | 3 | | 8 | – | 5,8 | – | 14,8 | – | 5,7 | 634 | – | 163 |
| | 4 | | 6,8 | – | 6,2 | 4,1 | 15,1 | 121 | – | 641 | – | 156 |
| | 5 | | 8,4 | 2,1 | 5,8 | – | 17,1 | – | – | 632 | 300 | 156 |
| 23 | 1 | 100 | 5,1 | – | 3,8 | 2,7 | 15,3 | 114 | 31,8 | 637 | – | 318 |
| | 2 | | 4,9 | 2 | 4 | 3,4 | 15,9 | – | 33,8 | 632 | 159 | 320 |
| | 3 | | 6,2 | 1,6 | 5,3 | – | 11,7 | 120 | 30,5 | 640 | 155 | – |
| | 4 | | 4,3 | – | – | 2,9 | 16,2 | 112 | 28,7 | 634 | – | 313 |
| | 5 | | 5,1 | 2,1 | 4,2 | 3 | – | – | 32,7 | 638 | 161 | 320 |
| 24 | 1 | 100 | 2,2 | 4 | 4,1 | 2,2 | 2 | 5,2 | – | 5,2 | 10,1 | – |
| | 2 | | 1,7 | 3,8 | 4,4 | 2 | – | 5 | – | 4,8 | 11,2 | – |
| | 3 | | 2,4 | – | – | 1,6 | 3,2 | 6,3 | 10,1 | 5,1 | 9,3 | – |
| | 4 | | 1,7 | – | – | 2,1 | – | 5,1 | 9,8 | 6,2 | 11,2 | – |
| | 5 | | 3,1 | – | – | 2 | 1,6 | 4,7 | 9,9 | 5 | – | – |

Окончание табл.

| № ри- сунка | № п/п | U, В | R1, Ом | R2, Ом | R3, Ом | R4, Ом | L1, мГн | L2, мГн | L3, мГн | C1, мкФ | C2, мкФ | C3, мкФ |
|-------------------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 25 | 1 | 100 | 2,1 | 4 | 6,2 | 5,8 | 115 | 95 | – | 637 | 159 | 318 |
| | 2 | | – | 3,5 | 5,9 | 8,3 | 112 | 92 | – | 640 | 155 | 321 |
| | 3 | | 1,8 | – | 6,3 | 7,6 | 121 | 103 | – | 632 | 148 | 312 |
| | 4 | | 2,3 | 4,5 | – | 8,3 | 118 | 98 | – | 642 | 155 | 318 |
| | 5 | | 1,6 | 4,1 | 5,8 | – | 120 | 91 | – | 634 | 162 | 321 |
| 26 | 1 | 100 | 2 | 3,1 | 4,1 | 4 | 5 | 10 | – | 5,2 | 10 | 5 |
| | 2 | | – | 2,9 | 3,5 | 4,2 | 5,1 | 9 | – | 4,9 | 11 | 4,8 |
| | 3 | | 2,1 | – | 4,3 | 3,5 | 5 | 10 | – | 5,2 | 9 | 4,9 |
| | 4 | | 2,4 | 3 | – | 4,1 | 4,7 | 10 | – | 4,8 | 10 | 5 |
| | 5 | | 2 | 2,8 | 3,5 | – | 5,1 | 9 | – | 5,2 | 11 | 4,7 |
| 27 | 1 | 100 | – | 6,1 | 2 | 4,3 | 95 | 31,8 | – | 637 | 318 | 300 |
| | 2 | | – | 5,7 | 1,8 | 3,7 | – | 30,5 | – | 634 | 316 | 299 |
| | 3 | | – | 6,2 | 2,3 | 4,2 | 96 | – | – | 639 | 314 | 303 |
| | 4 | | 2 | – | 1,6 | 3,9 | 92 | 32 | – | 640 | 316 | 298 |
| | 5 | | 1,6 | 5,8 | – | 4,2 | 88 | 30 | – | 635 | 312 | 304 |
| 28 | 1 | 100 | 3,1 | 4,2 | 6 | 8,3 | – | 31,8 | 115 | 637 | – | 300 |
| | 2 | | – | – | 5,7 | 9,3 | 15,8 | 32 | 121 | 641 | 318 | 296 |
| | 3 | | – | – | 5,1 | 8,3 | – | 30,7 | 110 | 634 | – | 304 |
| | 4 | | – | 3,8 | – | 7,8 | – | 31,7 | – | 639 | 316 | 298 |
| | 5 | | 2,7 | – | 4 | – | 14,5 | 32,4 | 121 | 641 | – | – |
| 29 | 1 | 100 | 4,1 | 4 | 7,5 | – | 159 | 318 | 6,4 | 637 | 300 | 159 |
| | 2 | | 4,3 | 3,5 | 8,3 | 5,4 | 161 | 317 | 6,1 | 642 | 308 | 160 |
| | 3 | | 3,7 | 4,2 | 7,9 | – | 156 | 321 | – | 632 | 307 | 162 |
| | 4 | | 4,1 | 3,9 | 8,2 | – | 156 | – | 5,9 | 637 | 328 | 156 |
| | 5 | | 4 | 4 | 8 | 6,1 | 161 | – | 6,5 | 640 | – | 162 |
| 30 | 1 | 100 | 2,2 | 6,1 | 8 | – | 15,9 | – | – | 159 | 318 | 300 |
| | 2 | | 1,8 | – | 7,2 | – | 16,1 | 115 | – | 161 | 321 | 298 |
| | 3 | | 2 | – | 9,1 | 8,1 | 14,5 | – | – | 154 | 315 | 302 |
| | 4 | | 1,8 | 5,8 | 8,1 | – | 15 | 116 | – | 162 | – | – |
| | 5 | | 2,3 | 6,2 | 7,7 | – | 17,2 | – | – | 156 | 320 | 297 |

Исходные данные для решения задачи 3

Исходные данные для решения задачи 3

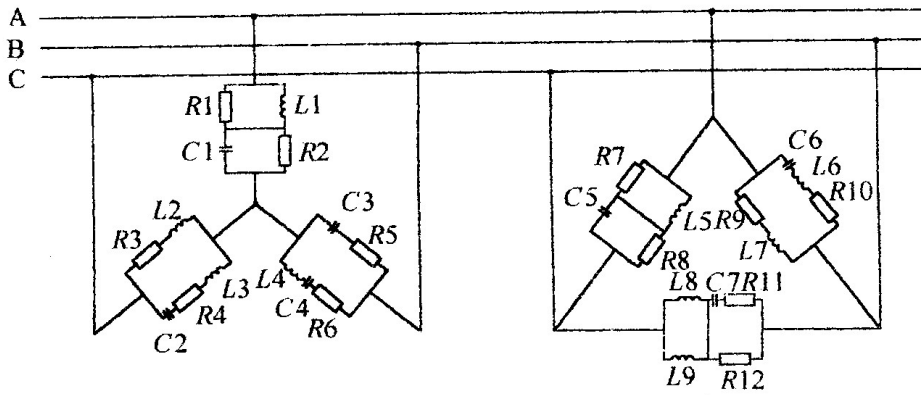


Рис. 1

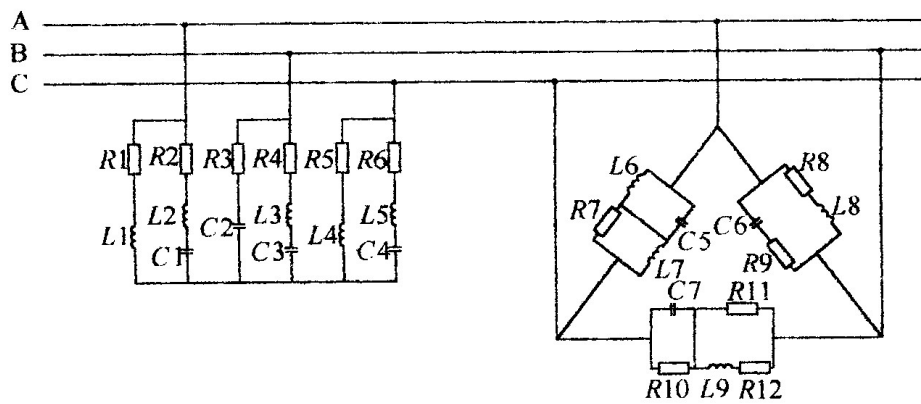


Рис. 2

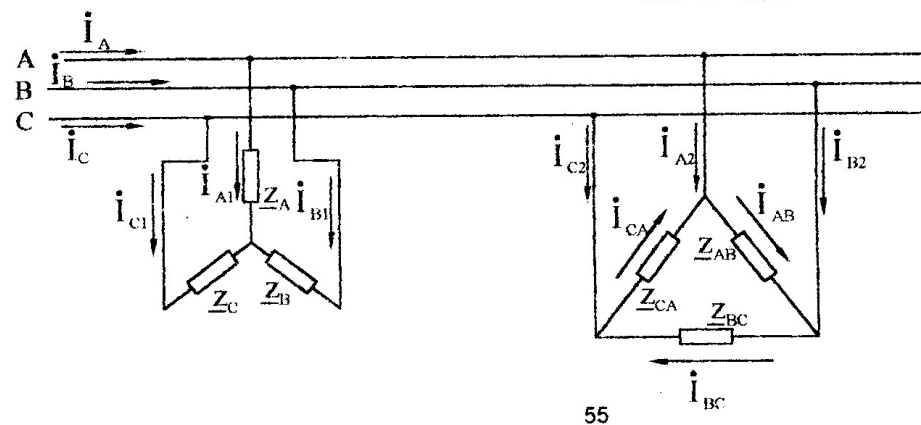


Рис. 3

55

Значения параметров

| № варианта | $U, В$ | $R1, Ом$ | $R2, Ом$ | $R3, Ом$ | $R4, Ом$ | $R5, Ом$ | $R6, Ом$ | $R7, Ом$ | $R8, Ом$ | $R9, Ом$ | $R10, Ом$ | $R11, Ом$ | $R12, Ом$ | $X_{L1}, Ом$ | $X_{L2}, Ом$ |
|------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| 1 | 127 | ∞ | 8,5 | 0 | 6,5 | 1,3 | 4,6 | 8,4 | 2,8 | 10,5 | 0,9 | 10 | ∞ | 23,6 | 15,8 |
| 2 | 127 | 0 | 21,6 | 6,2 | 4 | 10,5 | 7,5 | ∞ | 2,5 | 4,2 | 5,6 | 3,8 | 4,3 | 20 | 11 |
| 3 | 127 | 5,2 | ∞ | 0 | 12,8 | 1,2 | 0 | 18,5 | ∞ | 34,2 | 0 | 23,5 | 28,2 | 8,4 | 14,8 |
| 4 | 127 | 88 | 66 | 36,5 | 14,3 | 8,5 | 0 | 2,4 | 26,2 | 28 | 44,2 | ∞ | 10,2 | 45,6 | 0 |
| 5 | 127 | 1,5 | 2,2 | 0 | 0 | 14 | 0 | 3,5 | 0 | 50,5 | ∞ | ∞ | 5,6 | ∞ | 13,2 |
| 6 | 220 | 2,7 | 2,3 | 4,7 | 0 | 0 | 1,7 | 0 | 2,8 | 4,9 | 0 | 6,4 | 44 | 66 | 2,8 |
| 7 | 220 | 7,4 | ∞ | 4,8 | 5,3 | 12 | 8,5 | 2,5 | 4,3 | 0 | 1,5 | ∞ | 3,1 | 15 | 20,5 |
| 8 | 220 | 11,4 | 0 | 2,6 | 4,3 | ∞ | 1,8 | ∞ | ∞ | 10 | 10 | 0 | 10,5 | 5,8 | 3,8 |
| 9 | 220 | 3,5 | 2,8 | 16,8 | 14,5 | ∞ | 16 | ∞ | 12,5 | 0 | 0 | 8,5 | 7,8 | 11,4 | 0 |
| 10 | 220 | ∞ | 14,5 | 0 | 15,6 | 0 | 0 | 10,5 | ∞ | 20 | 8,4 | 11,5 | ∞ | 24,8 | 5,5 |
| 11 | 380 | 28,5 | 14,5 | 2,2 | 0 | ∞ | 18,5 | 4,8 | ∞ | 38,5 | 22 | 10 | 41,5 | ∞ | 42,2 |
| 12 | 380 | ∞ | 80,2 | 0 | 52 | 84 | 100 | 0 | 43,5 | ∞ | 10,5 | 20 | 20 | 95,2 | 55 |
| 13 | 380 | 23 | 32 | 0 | 6,3 | 0 | 7,5 | 15,5 | ∞ | 27 | 36 | 7,5 | ∞ | ∞ | 34,5 |
| 14 | 127 | 38,4 | 0 | ∞ | 15,2 | 0 | 0 | ∞ | 10,5 | 54 | 18 | 14 | ∞ | 40,5 | 60 |
| 15 | 127 | 39 | 6,5 | 28 | 15,5 | 11,5 | 80 | ∞ | ∞ | 43 | 24 | ∞ | 49,5 | 51 | 0 |
| 16 | 127 | 0 | 12 | 22 | 0 | ∞ | 4,5 | 8,2 | 14,5 | ∞ | 5,8 | 29 | 18,2 | 10,6 | 48,2 |
| 17 | 127 | ∞ | 15 | 10 | 7,5 | 10 | 30 | 110 | 17,5 | 1,5 | 35 | ∞ | 2,2 | 15,5 | 5,7 |
| 18 | 127 | 8 | 121 | 5,5 | 2,2 | 18 | 0 | 41 | 36 | 10 | 12 | 20 | 22 | 11 | 23 |
| 19 | 127 | ∞ | 11,5 | 42 | 2,6 | 5,5 | 0 | 4,5 | 18 | 0 | 20 | 3,2 | 130 | 37 | 0,5 |
| 20 | 127 | 2,5 | 103 | 0 | 0 | 6,5 | 4,5 | 25 | ∞ | 4 | 104 | ∞ | 3,5 | 88 | 14,5 |
| 21 | 220 | ∞ | 31,5 | 28 | 25 | 7,5 | 8,2 | ∞ | 24 | 0,8 | 44 | 28 | 13 | 64 | 70 |
| 22 | 220 | 0 | 25 | 31 | 0 | 18 | 4,5 | 22 | 8,2 | 13 | 0 | 21 | 32 | 60,5 | 7,4 |
| 23 | 220 | 17 | 14 | 0 | 21 | 5,5 | 0 | 10,5 | 13 | 20 | ∞ | 4,2 | 85 | 8,2 | 12 |
| 24 | 220 | 12 | 21 | 26 | 0 | 2,5 | 3,5 | 28 | ∞ | 8,5 | 11 | 0,8 | 38 | 9,5 | 0 |
| 25 | 220 | 5,5 | ∞ | 33 | 29 | 0 | 0 | 22 | 18 | 4,5 | 110 | 80,6 | 0 | 58 | 21 |
| 26 | 380 | 10 | 38 | 7 | 9 | 32 | 47 | ∞ | 54 | 6,5 | 7,2 | 20,5 | ∞ | 42 | 52 |
| 27 | 380 | ∞ | 100 | 28 | 11 | 42 | 45 | 25 | 15 | 40 | 20 | 10 | 27 | 4,5 | 80 |
| 28 | 380 | 24 | 7,5 | 14 | 0 | 0 | 9,5 | 0 | 65 | 0 | 44 | 20 | 130 | 22 | 16,5 |
| 29 | 380 | 4,5 | 66 | 0 | 0 | 8,5 | 9,5 | ∞ | ∞ | 2,8 | 5,5 | 66 | 58 | 66 | 7,5 |
| 30 | 380 | ∞ | 76 | 81 | 32 | 60 | 22 | ∞ | ∞ | 51 | 44 | 15 | ∞ | 0 | 10 |

Окончание табл.

| № варианта | $X_{L3},$ ОМ | $X_{L4},$ ОМ | $X_{L5},$ ОМ | $X_{L6},$ ОМ | $X_{L7},$ ОМ | $X_{L8},$ ОМ | $X_{L9},$ ОМ | $X_{C1},$ ОМ | $X_{C2},$ ОМ | $X_{C3},$ ОМ | $X_{C4},$ ОМ | $X_{C5},$ ОМ | $X_{C6},$ ОМ | $X_{C7},$ ОМ |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0 | 0 | 21,6 | 16,5 | 3,8 | 7,6 | 11,5 | 34,6 | 20 | 1,8 | 20,5 | ∞ | 0 | 19,5 |
| 2 | 0 | 8,3 | 1,6 | 2,2 | 2,8 | ∞ | 1,8 | 16,5 | 2,2 | 7,3 | 0 | 7,3 | 0 | 8,6 |
| 3 | 3,5 | 21,2 | 14,2 | 29,5 | 8,4 | 0 | 0 | 31,5 | 18,3 | 0,8 | 17,8 | 21,5 | 15 | 11 |
| 4 | 0 | 0 | ∞ | 0 | 12,5 | 18,4 | 21,8 | 21,8 | 8,6 | 7,4 | 42 | 10,5 | 11 | ∞ |
| 5 | 65,2 | 2,5 | 12,2 | ∞ | 7,2 | 12,3 | 14 | 70,4 | 80,5 | 17,2 | 0 | 0 | ∞ | 28 |
| 6 | 68,5 | 78,8 | 12,5 | 8,4 | 6,2 | 5,4 | 38 | 78 | 50,5 | 10,8 | 60,9 | 7,6 | 0 | 12,7 |
| 7 | 0 | 27,5 | ∞ | 22,1 | 14,2 | ∞ | 6,4 | 7,5 | 6,8 | 0 | 30,3 | ∞ | 0 | ∞ |
| 8 | 4,5 | 70,6 | 2,5 | 2,8 | 6,7 | 20 | 19,5 | 0 | 0 | 10 | 78,4 | 8,4 | 20 | 8,7 |
| 9 | 4,6 | 20 | 3,8 | 0 | 2,2 | 19,5 | 21,3 | ∞ | 0 | 5,3 | 45 | | 3,8 | 0 |
| 10 | 0 | 41,5 | 100 | 0 | 38,5 | 59 | 55,4 | 11,5 | 10 | 30,6 | 65,4 | 22,4 | 28,4 | 73,2 |
| 11 | 0 | 85,2 | 85 | 0 | 35,6 | 59 | 0 | 5,3 | 35,7 | 100 | 71,5 | 98 | 20 | 53 |
| 12 | 0 | 28 | 0 | 58 | ∞ | 59 | 76 | 110, | 14,5 | 20,5 | 80 | 48 | 74 | 10 |
| 13 | 81 | 39,5 | 100 | 21,5 | 0 | 59 | 63,5 | 18,5 | 50,5 | 42 | 75,3 | 21,4 | 44 | 41 |
| 14 | 34,5 | 41 | 52 | 94 | 12 | 59 | 52 | 0 | 10,5 | 63 | 83 | ∞ | 66 | 16,5 |
| 15 | 10,2 | 16 | 14,2 | 80 | 0 | 59 | 5 | 116 | 39,5 | 28,5 | 0 | 58,5 | 21,5 | ∞ |
| 16 | 41,5 | 61 | 23 | 12 | ∞ | 59 | 0 | 25 | 18,5 | 0 | 85 | 16 | 32 | 10 |
| 17 | 0 | 7,1 | 0 | 0 | 20 | 59 | 11 | 33 | 7,5 | 8,2 | 0 | 17,5 | 0 | ∞ |
| 18 | 14 | 0 | 4,6 | 40 | 7,6 | 59 | 48 | 21 | 0 | 17 | 10 | 70 | 3,5 | 18 |
| 19 | 10,8 | 8,5 | 86 | 0 | 10,3 | 59 | 8 | 25,6 | 5,2 | 19 | 28 | 14 | 7,4 | 21 |
| 20 | 21 | 28,5 | 34 | 23 | 12 | 59 | 10,5 | 8,4 | 7,4 | 0 | 35 | 17 | 0 | 72 |
| 21 | 19,5 | 16,5 | 66 | 21 | 17 | 59 | 19,5 | 42 | 0 | 12,5 | 0 | 48 | 0 | 20,5 |
| 22 | 0 | 0 | 22 | 45 | 24 | 59 | 66 | 35 | 4,5 | 37 | 39 | ∞ | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 7,5 | ∞ | 26 | 59 | 41 | 0 | 9,5 | 24 | 27 | 0 | 27 | 21 |
| 24 | 0 | 10 | 54 | 30 | 18 | 59 | 40 | 64 | 31 | 14,5 | 0 | 34 | 12 | 42 |
| 25 | 0,8 | 11 | 8,5 | 41 | 43 | 59 | 25 | 35 | 10 | 51 | 63 | ∞ | 20,6 | 32 |
| 26 | 43 | 0 | 8,5 | 61 | 47 | 59 | 28 | 42 | 0 | 18 | 16,5 | 31 | 50,5 | 12 |
| 27 | 10 | 8,1 | 125 | 38 | 24 | 59 | 7,4 | 25 | 33 | 0 | 9,4 | 5,5 | 0,8 | 28 |
| 28 | 9,5 | 15 | 0 | 14 | 35 | 59 | 17 | 180 | 18 | 31 | 48 | 25 | 60 | 27 |
| 29 | 10,5 | 6,2 | 41 | 8,8 | 28 | 59 | 13 | 24 | 29 | 30 | 43 | 72 | 54 | 5,5 |
| 30 | 28 | 51 | 62 | 8,5 | 84 | 59 | 12 | 51 | 46 | 8 | 0 | 21 | 19 | 36 |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 1 |
| Использование программы MathCAD при выполнении расчетно- графической работы..... | 3 |
| ЗАДАЧА 1. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА | 5 |
| ЗАДАЧА 2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА..... | 8 |
| ЗАДАЧА 3. РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА..... | 11 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 15 |
| Приложение 1. Пример расчета системы линейных уравнений с помощью программы MathCAD | 16 |
| Приложение 2. Создание векторных диаграмм в программе MathCAD | 20 |
| Приложение 3. Исходные данные для решения задачи 1 | 24 |
| Приложение 4. Исходные данные для решения задачи 2 | 41 |
| Приложение 5. Исходные данные для решения задачи 3 | 55 |

Афанасьева Наталия Александровна
Батяев Анатолий Алексеевич
Новотельнова Анна Владимировна

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮ- ТЕРА

Методические указания
по выполнению расчетно-графической работы
для студентов всех специальностей

Редактор

Л.Г. Лебедева

Корректор

Н.И. Михайлова

Подписано в печать 27.12.2002. Формат 60×84 1/16. Бум. писчая
Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,26. Печ. л. 3,5. Уч.-изд. л. 3,38
Тираж 00 экз. Заказ № С 60

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИПЦ СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9