

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Электроэнергетический
факультет
Кафедра электротехники,
автоматики и метрологии

С. В. АНИКУЕВ
Т. С. ФЕДОСЕЕВА

**АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
СЛОЖНЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ
ПОСТОЯННОГО И ГАРМОНИЧЕСКОГО ТОКА**

Методические указания для выполнения
курсовой работы по дисциплине
«Теоретические основы электротехники»

Ставрополь

«АГРУС»

2016

УДК 621.3.01

Рецензенты:

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Электротехника, автоматика и метрология»

И. К. Шарипов;

заведующий кафедрой «Электротехника, автоматика и метрология», доцент

И. Н. Воротников

С. В. Аникуев, Т. С. Федосеева

Анализ линейных электрических цепей. Сложные линейные электрические цепи постоянного и гармонического тока: методические указания для выполнения курсовой работы / С. В. Аникуев, Т. С. Федосеева. – Ставрополь : АГРУС, 2016. – 49 с.

Методические указания содержат перечень теоретических вопросов для контроля знаний студентов, задания на выполнение двух самостоятельных работ по расчету сложных линейных электрических цепей постоянного и гармонического токов в установившемся режиме и приводятся методические указания к их выполнению. В указания также включены программы на языке бейсик для решения систем линейных уравнений с действительными и комплексными коэффициентами.

Указания предназначены для студентов направления 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника», изучающих дисциплину «Теоретические основы электротехники».

УДК 621.3.01

Рекомендовано к изданию методической комиссией электроэнергетического факультета СтГАУ (Протокол №1 от 08.10.2016 г.)

© Аникуев С. В., Федосеева Т. С, 2016

© ФГБОУ ВО Ставропольский
государственный аграрный университет,
2016

ВВЕДЕНИЕ

Изучение основ теории линейных электрических цепей, являющейся теоретической базой многих дисциплин электроэнергетического и других смежных профилей, значительно углубляется и становится прочнее при приобретении практических навыков самостоятельного решения задач.

Настоящие указания содержат перечень теоретических вопросов для контроля и самопроверки знаний студентов и задания на выполнение двух самостоятельных работ по расчету сложных линейных электрических цепей постоянного и гармонического токов в установившемся режиме, а также приводятся методические указания по выполнению работ.

Задачи анализа сложных линейных электрических цепей сводятся теми или иными методами к решению систем линейных алгебраических уравнений с действительными или комплексными коэффициентами.

Целью данной курсовой работы является выполнение заданий по расчету сложных электрических цепей постоянного и гармонического токов в установившемся режиме. В процессе решения задач используются метод свертки, который включает в себя эквивалентные преобразования в цепи, законы Ома, Кирхгофа, как в простой, так и в комплексной форме, методы узловых потенциалов и контурных токов, метод замены источника тока источником ЭДС, перенос источников тока и источников ЭДС, метод комплексных амплитуд.

Так как при использовании этих методов надо решать сложные системы линейных алгебраических уравнений, требующие больших затрат времени, то рекомендуется использовать программу MathCAD.

ТРЕБОВАНИЯ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Курсовая работа выполняется на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210 x 297 мм).

Текст печатается полуторным интервалом нормальным шрифтом черного цвета. Размер шрифта – 14 (Times New Roman). Межстрочный интервал – 1,5.

Предусматриваются следующие размеры полей:

левое – 30 мм; правое – 15 мм;

верхнее – 20 мм; нижнее - 20 мм.

Рекомендуется производить выравнивание текста по ширине.

Абзацы в тексте начинаются отступом от левого поля. Отступ равен 1,25 см.

НУМЕРАЦИЯ СТРАНИЦ

Нумерация начинается с титульного листа. На титульном листе и оглавлении номер страницы не ставится. Первая цифра ставится на введении. Это обычно 3 или 4. Номер страницы проставляется в правом нижнем углу без точки в конце. Страницы текста курсовой работы нумеруются арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту. Иллюстрации, схемы, таблицы, рисунки, расположенные на отдельных листах, нумеруются в общем порядке.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление расположено на 2 странице. Заголовки оглавления должны точно повторять заголовки в тексте. Сокращать или давать их в другой формулировке и последовательности по сравнению с заголовками в тексте нельзя. Все заголовки начинают с прописной буквы без точки в конце.

Последнее слово каждого заголовка соединяют отточием с соответствующим ему номером страницы в правом столбце оглавления. В оглавление не включают титульный лист.

ОФОРМЛЕНИЕ ЗАГОЛОВКОВ

Наименования структурных элементов «ВВЕДЕНИЕ», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ», «СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ», «ПРИЛОЖЕНИЕ» служат заголовками структурных элементов курсовой работы.

Слово «Глава» в заголовке не пишется.

В заголовках нужно по возможности избегать узкоспециальных терминов, сокращений, аббревиатур, математических формул.

СОКРАЩЕНИЯ

Для снижения объема и трудоемкости исполнения курсовых работ в текстах применяют сокращения. Существуют общепринятые сокращения, применять которые следует в соответствии с ГОСТом 7.12 – 77 «СИБИД. Сокращение русских слов и словосочетаний в библиографическом описании». В работе могут быть введены свои сокращения, которые должны быть определены при первом упоминании. Если общее количество вводимых условных обозначений, вводимых терминов и сокращений превышает 10, их представляют в виде отдельного перечня «Списка сокращений».

ФОРМУЛЫ И УРАВНЕНИЯ

Формулы обязательно набирают в редакторе формул. Формулы и уравнения, если к ним есть пояснения, выделяют в тексте отдельными строками. Выше и ниже каждой формулы или уравнения оставляют одну свободную строку. Пояснения символов приводят под формулой в той же

последовательности, в какой они даны в формуле. Пояснения начинают со слова «где» без двоеточия, например:

$$S = ab, \quad (2)$$

где S – площадь прямоугольника, м^2 ;

a и b – длины сторон прямоугольника, м .

Формулы и уравнения нумеруют арабскими цифрами и помещают в круглых скобках с правой стороны страницы на уровне формулы. В пределах работы допускается только одна форма нумерации (сквозная или в пределах раздела). Перенос формул на другую строку разрешается только после математических знаков. Коэффициенты в формулах пишут впереди буквенных выражений и слитно с ними. Обозначение единиц физических величин подставляют в формулу только после подстановки числовых значений.

Основным знаком умножения является точка на средней линии (\cdot). Знак умножения (\times) применяется для переноса формул на знаке умножения, для обозначения произведения векторов. Знак умножения (\cdot) не ставят: перед буквенными обозначениями физических величин и между ними, перед скобками, после и между ними, между буквенными сомножителями в скобках, перед знаками радикала, интеграла, перед аргументами тригонометрических функций.

ОФОРМЛЕНИЕ ИЛЛЮСТРАЦИЙ

1. Рисунки

Все иллюстрации должны быть выполнены в одном стиле. Иллюстрации размещаются сразу после первой ссылки на них в тексте. Каждая иллюстрация должна сопровождаться содержательной подписью и нумероваться. Иллюстрации могут иметь сквозную нумерацию или

нумероваться в пределах одной главы. При большом количестве иллюстраций их помещают по порядку номеров в конце работы (в приложении). В случае, когда нумерация рисунков осуществляется в пределах одной главы, то номер рисунка должен состоять из номера главы (раздела) и порядкового номера рисунка, разделенных точкой, например: рис. 2.1 (первый рисунок второй главы). Подпись под иллюстрацией пишется с прописной буквы в одну строку вслед за номером. В конце подписи точку не ставят.

2. Таблицы

Основное поле таблицы содержит строки (горизонтальные ряды) и графы (колонки). Заголовки строк и граф в таблице пишутся с прописной буквы, а подзаголовки со – строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, и с прописных букв, если они самостоятельны. Таблицу размещают после первого упоминания в тексте.

Все таблицы нумеруются арабскими цифрами в пределах всего текста. В пределах работы используют только одну форму нумерации, сквозную или в пределах раздела (см. нумерация рисунков). Слово «таблица» пишется без кавычек строчными буквами (первая буква - прописная) в правом верхнем углу с указанием порядкового номера, например: Таблица 13. Знак № и точку в конце нумерационного заголовка не ставят. Если в работе одна таблица, то её не нумеруют.

ОФОРМЛЕНИЕ ССЫЛОК

При ссылке в тексте на источники нужно писать порядковый номер источника в списке использованных источников. Порядковый номер источника заключается в квадратную скобку. Если ссылаетесь на конкретную страницу данного источника, то эта страница тоже указывается. Например: [9], [9, с. 123].

Ссылки на части текста выполняют, используя сокращенные записи, например: «приведено в разд. 3.2», «указано в п. 3.3.1», «в формуле (3)», «на рис. 2», «в приложении 5», «в табл. 12». При повторной ссылке на одну и ту же иллюстрацию указывают сокращенно слово «смотри», например: (см. рис. 1). Если указанные слова не сопровождаются порядковым номером, то их пишут в тексте полностью, например: «из рисунка видно, что...». Ссылки на литературные источники указывают сразу после их упоминания порядковым номером и номером страницы, например: [28, с. 74]. Если текст цитируется не по первоисточнику, то ссылку начинают словами «Цит. по: ...» или «Цит. по ст.: ...». Когда есть необходимость подчеркнуть, что источник, на который делается ссылка, – лишь один из многих, то используют слова «См., например, ...», «См., в частности, ...». Когда нужно подчеркнуть, что ссылка представляет дополнительную литературу, указывают «См. также».

ВЫБОР НОМЕРА ВАРИАНТА

Номер варианта совпадает с порядковым номером, под которым записана фамилия студента в журнале группы.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Электроэнергетический факультет
Кафедра электротехники, автоматики и метрологии

АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Курсовая работа по учебной дисциплине
«Теоретические основы электротехники»

Вариант 1

Преподаватель

Ф. И. О. _____

“ ___ ” _____ 20__ г.

Студент __ курса __ группы

Ф. И. О. _____

“ ___ ” _____ 20__ г.

Ставрополь

20__

Список сокращений

ИТ – источник тока

ИН – источник напряжения

МКТ – метод контурных токов

МУН – метод узловых напряжений

ЭДС – электродвижущая сила

ЭлСх – электрическая схема

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

1.1 Основные определения

Электрической цепью называют совокупность соединенных друг с другом источником электрической энергии и нагрузок, по которым может протекать электрический ток.

Постоянным током называют ток, неизменный во времени. Постоянный ток представляет собой направленное упорядоченное движение частиц, несущих электрические заряды.

Электрической схемой называется изображение электрической цепи с помощью условных знаков.

Эквивалентной электрической схемой цепи называется условное графическое изображение цепи, составленной из идеализированных элементов, замещающей исследуемую реальную цепь в рамках решаемой задачи. Каждому идеализированному элементу цепи присваивается определенное условное графическое и буквенное обозначение. Эквивалентная схема цепи может быть получена из принципиальной электрической схемы, если каждый изображенный на ней реальный элемент заменить его эквивалентной схемой или схемой замещения.

Схема замещения реального элемента представляет собой условное графическое изображение идеализированной электрической цепи, моделирующей данный элемент в рамках представленной задачи.

Ветвь представляет собой участок электрической цепи, вдоль которого протекает один и тот же ток.

Любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям цепи, называют контуром.

Место соединения двух и более ветвей называется узлом.

Сопротивление это идеализированный пассивный элемент, в котором электрическая энергия необратимо преобразуется в какой либо другой вид

энергии (тепловую, световую и т.д.). Запасания энергии электрического или магнитного полей не происходит.

Под напряжением на некотором участке электрической цепи понимают разность потенциалов между крайними точками этого участка.

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \quad (1)$$

1.2 Закон Ома для участка цепи.

При неизменном сопротивлении проводника напряжение на нем пропорционально току в проводнике.

$$U = IR \quad (2)$$

Закон Ома для участка цепи, содержащего Э.Д.С.:

$$U = IR \pm E \quad (3)$$

1.3 Преобразование соединений идеализированных двухполюсников

Соединение группы идеализированных двухполюсных элементов, при котором через них протекает один и то же ток, называют последовательным. Эквивалентное сопротивление на таком участке считается по формуле (4).

$$R_{\text{э}} = \sum_{m=1}^n R_m \quad (4)$$

где $R_{\text{э}}$ - эквивалентное сопротивление последовательного участка, Ом; n – общее число сопротивлений на участке цепи; R_m - сопротивление m – го элемента цепи.

Соединение группы двухполюсных элементов, при котором все элементы находятся под одним и тем же напряжением, называется параллельным.

$$\frac{1}{R_{\text{э}}} = \sum_{m=1}^n \frac{1}{R_m} \quad (5)$$

где R_3 - эквивалентное сопротивление параллельного участка, Ом; n – общее число сопротивлений на участке цепи; R_m - сопротивление m – го элемента цепи.

Смешанное соединение это комбинация последовательного и параллельного соединений элементов.

Соединение трех сопротивлений, имеющие вид трехлучевой звезды называют - «соединение звезда» (рисунок 1).

Соединение трех сопротивлений так, что они образуют собой стороны треугольника, называют – «соединение треугольник» (рисунок 1).

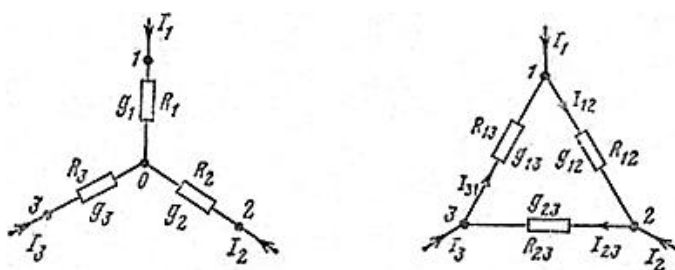


Рисунок 1 – Соединения «звезда» и «треугольник»

При расчете электрических цепей иногда необходимо преобразовывать «треугольник» в «звезду» или, наоборот, «звезду» в «треугольник». Если преобразования выполнить таким образом, что при одинаковых значениях потенциалов одноименных точек «треугольника» и «звезды» подтекающие к этим точкам токи одинаковы, то вся внешняя схема не изменится.

Выразим токи в «звезде» (6) и в «треугольнике» (7).

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad (6)$$

$$I_1 = (f_1 - f_0)g_1; \quad I_2 = (f_2 - f_0)g_2; \quad I_3 = (f_3 - f_0)g_3; \quad (7)$$

Подставим (7) в (6), получим выражение для четвертого потенциала «звезды».

$$f_0 = \frac{f_1g_1 + f_2g_2 + f_3g_3}{g_1 + g_2 + g_3}; \quad (8)$$

Для нахождения формул, позволяющих найти проводимости сторон «треугольника» через проводимости «звезды» введем (8) в (7) для первого тока.

$$I_1 = (f_1 - f_0)g_1 = \frac{[f_1(g_2 + g_3) - f_2g_2 - f_3g_3]g_1}{g_1 + g_2 + g_3}; \quad (9)$$

Для «треугольника» в соответствии с рисунком 2.

$$I_1 = I_{12} - I_{31} = (f_1 - f_2)g_{12} - (f_3 - f_1)g_{13} = f_1(g_{12} + g_{13}) - f_3g_{13} - f_2g_{12}; \quad (10)$$

Так как первый ток в схеме «звезда» должен равняться первому току в схеме «треугольник» при любых значениях потенциалов, то коэффициент при f_2 в правой части формулы (10) должен равняться коэффициенту f_2 в правой части (9), соответственно так же коэффициент при f_3 . Следовательно:

$$g_{12} = \frac{g_1g_2}{g_1 + g_2 + g_3}; \quad g_{13} = \frac{g_1g_3}{g_1 + g_2 + g_3}; \quad g_{23} = \frac{g_2g_3}{g_1 + g_2 + g_3}. \quad (11)$$

Принимая $R_1 = \frac{1}{g_1}$; $R_2 = \frac{1}{g_2}$; $R_3 = \frac{1}{g_3}$; $R_{12} = \frac{1}{g_{12}}$; $R_{13} = \frac{1}{g_{13}}$; $R_{23} = \frac{1}{g_{23}}$;

получим:

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1R_2}{R_3}; \quad R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2R_3}{R_1}; \quad R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3R_1}{R_2}. \quad (12)$$

Формулы преобразования треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду сопротивлений (рисунок 1) имеют вид:

$$R_1 = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_2 = \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_3 = \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \quad (13)$$

1.4 Законы Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа определяет баланс токов в узлах электрической цепи: алгебраическая сумма токов в ветвях, связанных общим узлом электрической цепи, равна нулю; или сумма токов, уходящих от узла электрической цепи, равна сумме токов, приходящих к этому узлу.

$$i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n = 0 \quad \text{или} \quad \sum_{k=1}^n i_k = 0 \quad (14)$$

Второй закон Кирхгофа устанавливает баланс напряжений в контурах электрической цепи: во всяком контуре электрической цепи алгебраическая сумма напряжений на отдельных элементах контура равна нулю. Математическое выражение закона или второе уравнение Кирхгофа имеет вид:

$$u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_n = 0 \quad \text{или} \quad \sum_{k=1}^n u_k = 0 \quad (15)$$

где k – индексы всех активных и пассивных элементов контура, включая и внутренние сопротивления генераторов;

U_k - напряжения на этих элементах.

Второе уравнение Кирхгофа можно переписать иначе, сохранив в левой части последнего равенства напряжения только на пассивных элементах контура. Напряжения источников напряжений, равные э.д.с. этих источников, можно перенести в правую часть равенства:

$$\sum_{k=1}^n u_k = \sum_{n=1}^m e_n, \quad (16)$$

где n – число пассивных элементов;

m – число источников напряжений.

Читается это уравнение так: во всяком контуре электрической цепи алгебраическая сумма падений напряжения равна алгебраической сумме э.д.с., действующих в этом контуре.

1.5 Метод, основанный на законах Кирхгофа.

1. Определяется число ветвей, т.е. число неизвестных токов, и узлов, которые обозначаются буквами или цифрами (1,2,3,0) выбираются произвольно и указывается положительные направления токов;

2. Определяется сколько уровней нужно составить по первому закону Киргофа и сколько по второму. Общее число уравнений должно быть равно числу неизвестных токов т.е. числу ветвей. По первому закону составляется

($Y-1$) уравнений, где Y - число узлов схем. Число уравнений, которые требуется составить по второму закону Кирхгофа меньше общего числа уравнений на число уравнений составленных по первому закону Кирхгофа;

3. Составляется уравнения. При составлении $y-1$ уравнений по первому закону Кирхгофа токам, направленным от узла, приписывается знак $+$, а направленным к узлу знак $-$ (или наоборот).

Уравнения по второму закону составляются для контуров, так, чтобы в каждой следующей контур входило хотя бы одна ветвь, не вошедшая в другие контуры, для которых уже записаны уравнения. Выбирается направление обхода каждого контура. При обходе контура в выбранном направлении ЭДС записывается со знаком $+$, если ее направление совпадает с направлением обхода контура, и со знаком минус в противном случае; падение напряжения RI записывается со знаком плюс, если направление обхода ветви совпадают с положительным направлением тока, и со знаком минус в противном случае.

1.6 Метод узловых потенциалов.

Для всех узлов, кроме одного (базового), потенциал которого обычно выбирается равным нулю, составляются уравнения в соответствии с первым законом Кирхгофа, причём каждый из неизвестных токов выражается через сопротивления, эдс и потенциалы узлов согласно обобщённому закону Ома. Из полученной системы $n - 1$ независимых уравнений (где n — число узлов схемы) определяются потенциалы узлов (равные напряжениям между каждым из узлов и базовым), а затем (по закону Ома) токи ветвей и напряжения на зажимах приемников и источников. Если заданы напряжения между какими-либо парами узлов или известны токи в некоторых ветвях, то число независимых уравнений меньше $n - 1$. Уравнения можно записать и решать в матричной форме.

1.7 Метод контурных токов.

Это широко распространенный метод расчета сложных электрических цепей с несколькими контурами и несколькими источниками электрической энергии. В основе метода лежат законы Кирхгофа и два предположения: в каждом контуре протекают независимые друг от друга расчетные токи, а ток в каждой ветви равен алгебраической сумме контурных токов, замыкающих через эту ветвь.

При этих предположениях оказывается, что для расчета схемы достаточно ограничиться составлением уравнений для контурных токов только по второму закону Кирхгофа, так как для контурных токов первый закон выполняется в силу принятых для контурных токов предположений.

2. ТЕОРИЯ

Необходимо подготовить ответ на теоретический вопрос в соответствии со своим вариантом.

1. Схемы электрических цепей и их элементы.
2. Закон Ома.
3. Закон Кирхгофа.
4. Схемы замещения электрических цепей.
5. Эквивалентные преобразования пассивных электрических цепей.
6. Расчет цепей посредством двух законов Кирхгофа.
7. Мощность в цепях постоянного тока.
8. Баланс мощностей.
9. Метод контурных токов.
10. Метод межузлового напряжения.
11. Метод эквивалентного генератора.
12. Нелинейные цепи постоянного тока.
13. Нелинейные элементы.
14. Вольт-амперные характеристики нелинейных элементов.
15. Графоаналитические методы расчета нелинейных цепей.
16. Однофазный синусоидальный ток.
17. Представление синусоидальных электрических величин временными диаграммами, векторами и комплексными числами.
18. Закон Ома в комплексной форме.
19. Закон Кирхгофа в комплексной форме.
20. Формы тока и напряжения в R, L, C элементах.
21. Действующие значения гармонических токов и напряжений.
22. Соединения R, L, C элементов в цепях синусоидального тока.
23. Мощность при гармонических напряжениях и токах.
24. Топографические и лучевые векторные диаграммы.
25. Линейные электрические цепи с взаимной индуктивностью.
26. Согласованное включение индуктивно связанных элементов.
27. Встречное включение индуктивно связанных элементов.
28. Последовательное соединение индуктивно связанных элементов.
29. Параллельное соединение индуктивно связанных элементов.
30. Расчет линейных цепей с взаимной индуктивностью при гармонических токах и напряжениях.
31. Развязка индуктивной связи.

32. Трансформатор в линейном режиме.
33. Резонанс напряжений.
34. Резонанс токов.
35. Резонансные характеристики.
36. Переходные процессы.
37. Законы коммутации.
38. Классический метод расчета переходных процессов.
39. Операторный метод расчета переходных процессов.
40. Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме.
41. Расчет переходных процессов комбинированным методом.

3. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЯ 2

3.1 Формулировка задания

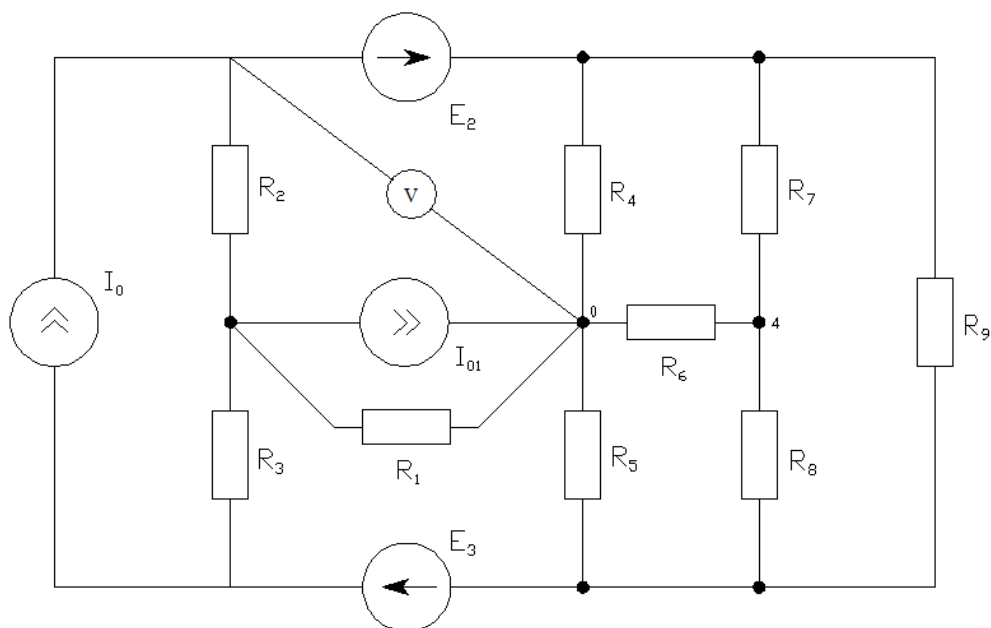


Рисунок 2 – Исходная ЭлСх для второго задания

Для электрической схемы, изображенной на рисунке 2, полагая, что значение сопротивлений, токов источников тока, Э.Д.С. источников напряжения известны, выполнить:

- составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для расчета токов во всех ветвях схемы;
- определить токи и напряжения всех ветвей схемы по МКТ и МУП. Результаты расчетов токов и напряжений свести в таблице для сравнения;
- проверить условие баланса мощностей (если схема преобразовывалась);
- определить показания вольтметра V ;
- построить в выбранном масштабе график изменения потенциалов вдоль внешнего контура схемы.

Значение исходных сопротивлений представлены в таблице 1, а номиналы источников токов и напряжений представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Значения активных и пассивных элементов ЭлСх

$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$R_5, \text{ Ом}$	$R_6, \text{ Ом}$	$R_7, \text{ Ом}$	$R_8, \text{ Ом}$	$R_9, \text{ Ом}$
575	17,5	32	145	260	345	520	435	320

Таблица 2 – Номиналы источников тока и напряжения

$I_0, \text{ А}$	$I_{01}, \text{ А}$	$E_2, \text{ В}$	$E_3, \text{ В}$
1,15	2,3	130	145

3.2 Упрощение схемы

Для облегчения дальнейших расчётов необходимо упростить исходную схему, преобразовав ИТ в эквивалентные ИН. По условию задания ИТ I_{01} – вырожденный, остальные источники невырожденные. Невырожденный ИТ I_0 преобразуем в ИН E_0 , используя схему замещения линеаризованных источников. Вырожденный ИТ I_{01} преобразуется с помощью переноса источников в два ИН E_{13} и E_5 . После преобразования исчезает узел 1. Также по условию задания параллельно подключенное к вырожденному ИТ сопротивление R_1 , будем считать бесконечно большим, тогда исходная ЭлСх примет вид, отражённый на рисунке 3

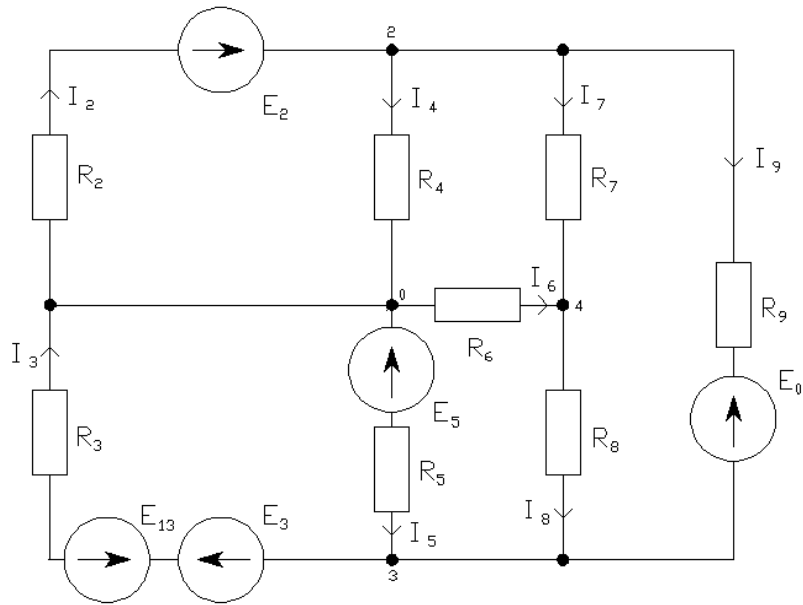


Рисунок 3 – Исходная ЭлСх после преобразования ИТ

Полученные последовательно соединённые ИН E_{13} и E_3 можно заменить одним ИН E_3 , ЭДС которого будет представлять собой алгебраическую сумму ЭДС E_{13} и E_3 . Конечный результат упрощения представлен на рисунке 4

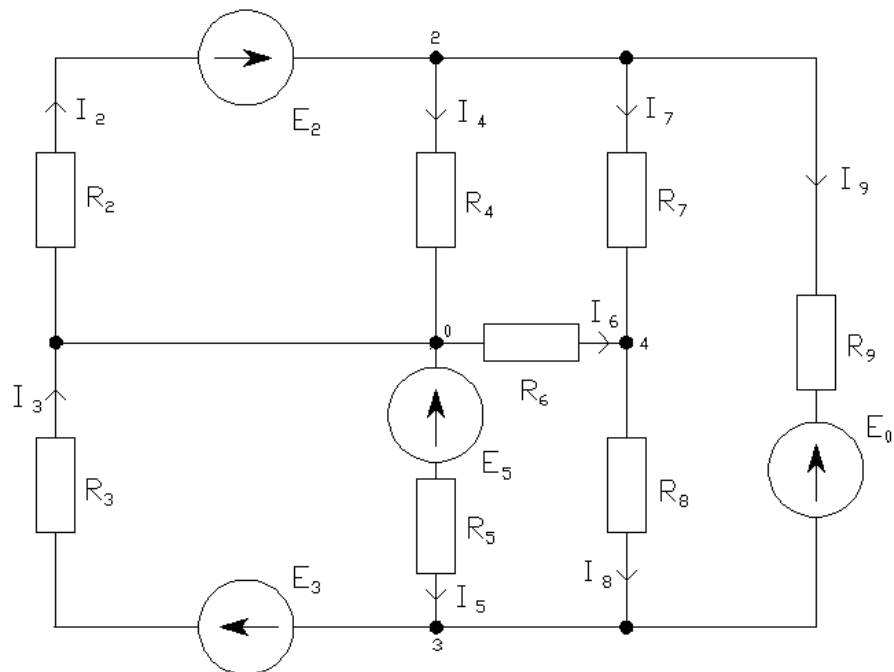


Рисунок 4 – Упрощенная ЭлСх

Новые значения ЭДС приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения ЭДС

$E_0, \text{ В}$	$E_3, \text{ В}$	$E_5, \text{ В}$
368	71,4	598

3.3 Расчет токов на основе законов Кирхгофа

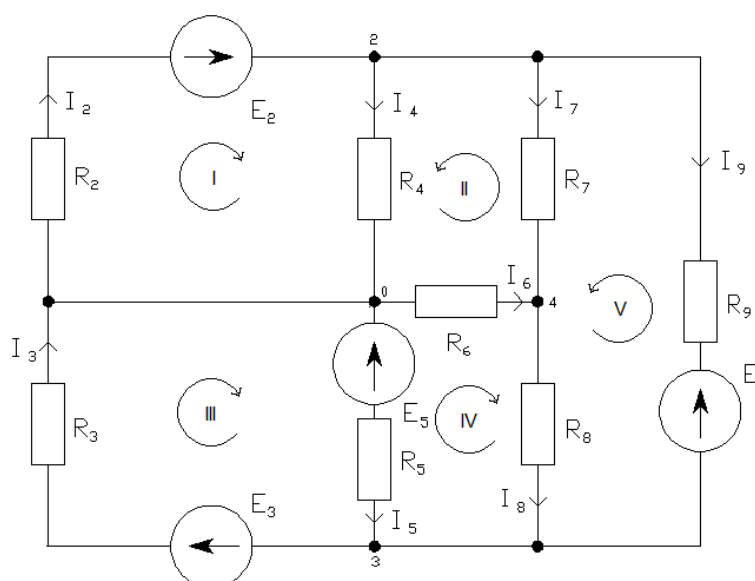


Рисунок 5 – ЭлСх для расчёта по П и ВЗК

В схеме, представленной на рисунке 5, число узлов $N_y = 4$, количество ветвей $N_e = 8$. Тогда число независимых уравнений, составленных по ПЗК и ВЗК, будет соответственно равно:

$$N = N_y - 1 = 3$$

$$N = N_B - N_y + 1 - N_T = 6$$

Тогда, на основании законов Кирхгофа, можно составить следующую систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_4 + I_7 + I_9 - I_2 = 0 \\ I_3 - I_5 - I_8 - I_9 = 0 \\ I_8 - I_7 - I_6 = 0 \\ I_2 \cdot R_2 + I_4 \cdot R_4 = E_2 \\ I_3 \cdot R_3 + I_5 \cdot R_5 = E_3 - E_5 \\ I_8 \cdot R_8 + I_6 \cdot R_6 - I_5 \cdot R_5 = E_5 \\ I_4 \cdot R_4 + I_6 \cdot R_6 - I_7 \cdot R_7 = 0 \\ I_7 \cdot R_7 + I_8 \cdot R_8 - I_9 \cdot R_9 = E_0 \end{array} \right.$$

В результате решения данной системы были получены численные значения всех токов в преобразованной схеме. Очевидно, что токи в исходной цепи будут принимать те же значения. Значения найденных токов сведены в таблицу 10.

Теперь найдем напряжение на всех ветвях цепи с помощью формул (1) и (2):

$$\begin{array}{ll} U_2 = I_2 \cdot R_2 & U_6 = I_6 \cdot R_6 \\ U_3 = I_3 \cdot R_3 & U_7 = I_7 \cdot R_7 \\ U_4 = I_4 \cdot R_4 & U_8 = I_8 \cdot R_8 \\ U_5 = I_5 \cdot R_5 & U_9 = I_9 \cdot R_9 \end{array}$$

Значения найденных напряжений сведены в таблицу 6.

3.4 Расчет схемы методом контурных токов

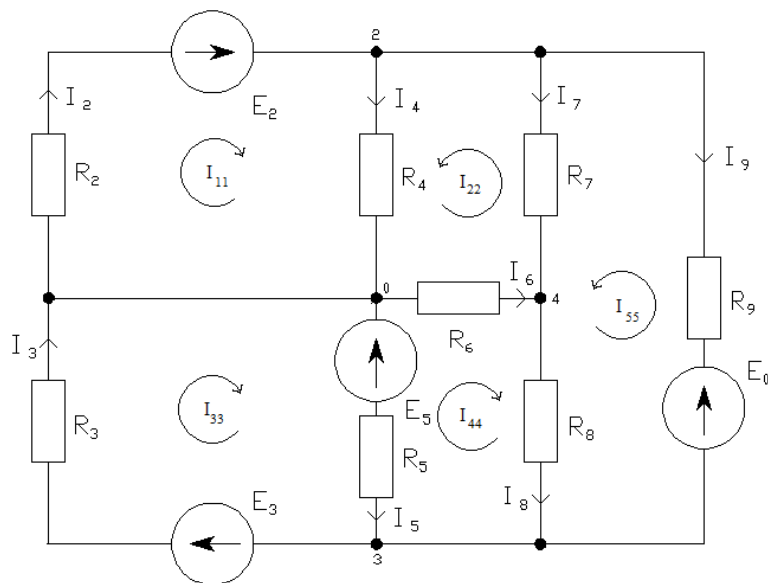


Рисунок 6 – ЭлСх для расчёта по МКТ

Рассчитаем все токи в упрощенной цепи, представленной на рисунке 18, при помощи метода контурных токов. Обозначим контурные токи через I_{11} , I_{22} , I_{33} , I_{44} , I_{55} .

Используя ВЗК, составим систему уравнений для контурных токов:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{11} \cdot (R_2 + R_4) + I_{22} \cdot R_4 = E_2 \\ I_{11} \cdot R_4 + I_{22} \cdot (R_4 + R_6 + R_7) + I_{44} \cdot R_6 - I_{55} \cdot R_7 = 0 \\ I_{33} \cdot (R_3 + R_5) - I_{44} \cdot R_5 = E_3 - E_5 \\ I_{22} \cdot R_6 - I_{33} \cdot R_5 + I_{44} \cdot (R_5 + R_6 + R_8) + I_{55} \cdot R_8 = E_5 \\ -I_{22} \cdot R_7 + I_{44} \cdot R_8 + I_{55} \cdot (R_7 + R_8 + R_9) = E_0 \end{array} \right.$$

Решив данную систему, найдем все контурные токи. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения контурных токов в Амперах

J_{11}	J_{22}	J_{33}	J_{44}	J_{55}
0,691	0,123	-1,885	-0,092	0,37

Теперь найдем токи в исходной цепи:

$$\begin{array}{ll} I_2 = I_{11} & I_6 = I_{22} + I_{44} \\ I_3 = I_{33} & I_7 = I_{55} - I_{22} \\ I_4 = I_{11} + I_{22} & I_8 = I_{55} + I_{44} \\ I_5 = I_{33} - I_{44} & I_9 = -I_{55} \end{array}$$

Подставив в эти формулы значения контурных токов, получаем токи во всех ветвях упрощенной схемы. Очевидно, что токи в исходной цепи будут принимать те же значения. Значения найденных токов сведены в таблицу 6. Теперь рассчитаем напряжения на всех ветвях цепи с помощью формул (1) и (2). Значения найденных напряжений сведены в таблицу 6:

$$\begin{aligned}
 U_2 &= I_2 \cdot R_2 & U_6 &= I_6 \cdot R_6 \\
 U_3 &= I_3 \cdot R_3 & U_7 &= I_7 \cdot R_7 \\
 U_4 &= I_4 \cdot R_4 & U_8 &= I_8 \cdot R_8 \\
 U_5 &= I_5 \cdot R_5 & U_9 &= I_9 \cdot R_9
 \end{aligned}$$

3.5 Расчет схемы методом узловых потенциалов

Рассчитаем токи методом узловых потенциалов для упрощенной схемы (рисунок 4). Перед тем, как составлять уравнения по методу контурных токов, необходимо принять потенциал какого-либо узла равным нулю.

Примем за нулевой потенциал узла 0:

$$\varphi_0 = 0$$

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases}
 \varphi_2 \cdot \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_9} \right) - \frac{\varphi_3}{R_9} - \frac{\varphi_4}{R_7} = \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_0}{R_9} \\
 \frac{-\varphi_2}{R_9} + \varphi_3 \cdot \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_9} \right) - \frac{\varphi_4}{R_8} = \frac{-E_3}{R_3} - \frac{E_5}{R_5} - \frac{E_0}{R_9} \\
 \frac{-\varphi_2}{R_7} - \frac{\varphi_3}{R_8} + \varphi_4 \cdot \left(\frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_8} \right) = 0
 \end{cases}$$

Значения потенциалов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения потенциалов узлов упрощенной схемы в Вольтах

φ_0	φ_2	φ_3	φ_4
0	117,914	-131,721	-10,68

Далее, используя закон Ома, найдем токи во всех ветвях:

$$\begin{aligned}
 I_2 &= \frac{\varphi_0 - \varphi_2 + E_2}{R_2} & I_6 &= \frac{\varphi_0 - \varphi_4}{R_6} & I_4 &= \frac{\varphi_2 - \varphi_0}{R_4} & I_8 &= \frac{\varphi_4 - \varphi_3}{R_8} \\
 I_3 &= \frac{\varphi_3 - \varphi_0 + E_3}{R_3} & I_7 &= \frac{\varphi_2 - \varphi_4}{R_7} & I_5 &= \frac{\varphi_0 - \varphi_3 - E_5}{R_5} & I_9 &= \frac{\varphi_2 - \varphi_3 - E_0}{R_9}
 \end{aligned}$$

Подставив значения потенциалов, сопротивлений и номиналы источников напряжения, получаем значения силы тока во всех ветвях

преобразованной схемы. Значения этих токов совпадают со значениями токов в исходной цепи. Значения всех токов представлены в таблице 6.

Рассчитаем напряжения на всех ветвях цепи при помощи формулы (1) Значения найденных напряжений сведены в таблицу 6.

$$\begin{aligned}
 U_2 &= \varphi_0 - \varphi_2 + E_2 & U_6 &= \varphi_0 - \varphi_4 \\
 U_3 &= \varphi_3 - \varphi_0 + E_3 & U_7 &= \varphi_2 - \varphi_4 \\
 U_4 &= \varphi_2 - \varphi_0 & U_8 &= \varphi_4 - \varphi_3 \\
 U_5 &= \varphi_0 - \varphi_3 - E_5 & U_9 &= \varphi_2 - \varphi_3 - E_0
 \end{aligned}$$

3.6 Результаты расчетов

Таблица 6 – Результаты расчёта токов и напряжений тремя методами

k	ПЗК и ВЗК		МКТ		МУН	
	I _k , А	U _k , В	I _k , А	U _k , В	I _k , А	U _k , В
2	0,691	12,086	0,691	12,086	0,691	12,086
3	-1,885	-60,321	-1,885	-60,321	-1,885	-60,321
4	0,813	117,914	0,813	117,914	0,813	117,914
5	-1,793	-466,279	-1,793	-466,279	-1,793	-466,279
6	0,031	10,68	0,031	10,68	0,031	10,68
7	0,247	128,594	0,247	128,594	0,247	128,594
8	0,278	121,04	0,278	121,04	0,278	121,04
9	-0,37	-118,365	-0,37	-118,365	-0,37	-118,365

Показания вольтметра определим по формуле:

$$U = |\varphi_0 - E_2| = 130 \text{ В}$$

3.7 Проверка с помощью условия баланса мощностей:

$$P_{\text{ист}} = P_{\text{нагр}}$$

$$P_{\text{нагр}} = \sum_{k=2}^9 [I_k]^2 \cdot R_k = 1.164 \times 10^3 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{ист}} = -E_0 \cdot I_9 + E_2 \cdot I_2 + E_3 \cdot I_3 - E_5 \cdot I_5 = 1.164 \times 10^3 \text{ Вт}$$

Построим график изменения потенциала вдоль внешнего контура схемы (рисунок 7).

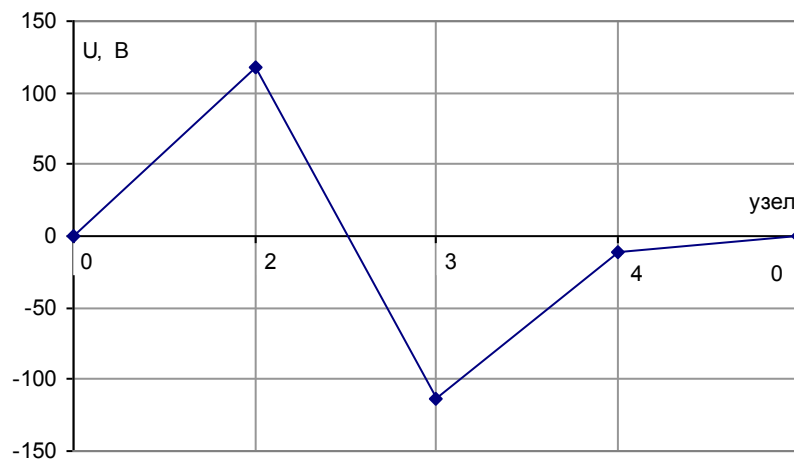


Рисунок 7 – Зависимость изменения потенциала по внешнему контуру схемы

4. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЯ 3

4.1 Формулировка задания

Целью данной работы является анализ электрической цепи гармонического тока.

Задание:

- 1) для заданного графа ЭЦ изобразить электрическую схему цепи для мгновенных значений;
- 2) изобразить комплексную схему замещения;
- 3) на основании законов Кирхгофа составить систему уравнений для расчёта комплексных действующих значений токов во всех ветвях цепи;
- 4) определить комплексные действующие значения токов и напряжений ветвей по МКТ и МУН. Результаты расчётов свести в таблицу;
- 5) проверить выполнение условия баланса мощностей в цепи;
- 6) в масштабе построить график изменения комплексного потенциала вдоль внешнего контура схемы.

Таблица 7 – Типы элементов ветвей

1	1'	1''	2	2'	2''	3	3'	3''	4	4'	4''	5	5'	5''	6	6'	6''
j_1	R_1	L_1	L_2	C_2	-	e_3	R_3	C_3	R_4	L_4	-	L_5	C_5	-	R_6	-	C_6

Подставив элементы в расширенный граф цепи, схема примет вид, изображенный на рисунке 8. Номиналы элементов приведены в таблицах 8, 9.

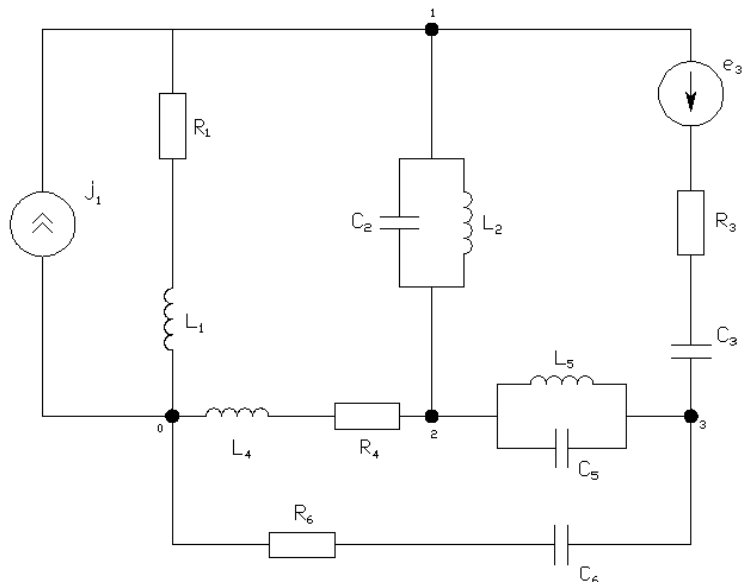


Рисунок 8 – Исходная ЭлСх для третьего задания

Таблица 8 – Номиналы элементов

$R_1,$ Ом	$R_3,$ Ом	$R_4,$ Ом	$R_6,$ Ом	$C_2,$ мкФ	$C_3,$ мкФ	$C_5,$ мкФ	$C_6,$ мкФ	$L_1,$ мГн	$L_2,$ мГн	$L_4,$ мГн	$L_5,$ мГн
270	67,5	125	172,5	1	4,6	0,81	2,7	67,5	125	50	172,5

Таблица 9 – Номиналы ИТ и ИН

j_1, A	e_3, B
$\sqrt{2} \cdot 1,15 \cos(\omega t)$	$\sqrt{2} \cdot 1,15 \cos(\omega t)$

Частота источников тока равна 0,5 кГц

4.2 Комплексная схема замещения

Один из самых важных этапов расчета сложных электрических цепей переменного тока является изображение и расчет комплексной схемы замещения. На ней реактивные элементы замещаются комплексными сопротивлениями и используются действующие значения источников токов и

напряжений. Комплексная схема замещения для схемы, представленной на рисунке 8, изображена на рисунке 9.

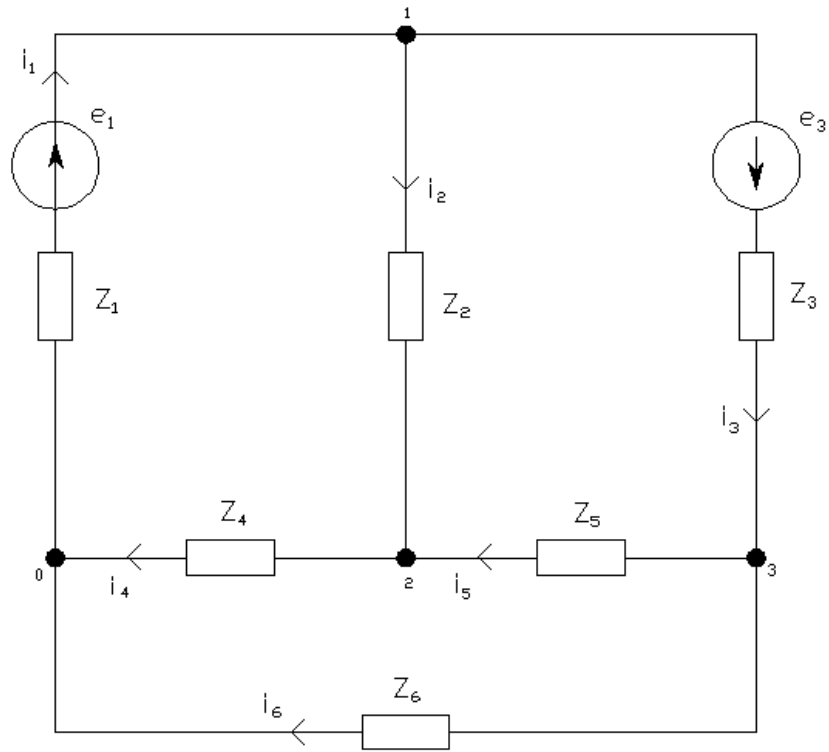


Рисунок 9 – Комплексная схема замещения исходной ЭлСх

Рассчитаем комплексные сопротивления реактивных элементов:

$$\begin{aligned}
 Z_{11} &= \omega \cdot L_1 i & Z_{31} &= \frac{1}{\omega \cdot C_3 i} & Z_{52} &= \frac{1}{\omega \cdot C_5 i} \\
 Z_{21} &= \omega \cdot L_2 i & Z_{41} &= \omega \cdot L_4 i & & & \\
 Z_{22} &= \frac{1}{\omega \cdot C_2 i} & Z_{51} &= \omega \cdot L_5 i & Z_{61} &= \frac{1}{\omega \cdot C_6 i}
 \end{aligned}$$

Далее преобразуем соединения сопротивлений по формулам (4) и (5):

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= Z_{11} + R_1 & Z_3 &= R_3 + Z_{31} & Z_5 &= R_4 + Z_{41} \\
 Z_2 &= \frac{Z_{21} \cdot Z_{22}}{Z_{21} + Z_{22}} & Z_4 &= \frac{Z_{51} \cdot Z_{52}}{Z_{51} + Z_{52}} & Z_6 &= R_6 + Z_{61}
 \end{aligned}$$

Также, пользуясь комплексными схемами замещения источника, преобразуем ИТ j_1 в эквивалентный ему ИН e_1 , согласно формуле:

$$e_1 = j_1 \cdot Z_1$$

Результаты преобразований представлены в таблице 10

Таблица 10 – Расчёт комплексных сопротивлений и ИН, полученных после преобразования ЭлСх

$e_1,$ В	$Z_1,$ Ом	$Z_2,$ Ом	$Z_3,$ Ом	$Z_4,$ Ом	$Z_5,$ Ом	$Z_6,$ Ом
$263,436+294,079j$	$270+212,058j$	$-0,319j$	$67,5-0,0069j$	$-0,393j$	$128+157,08j$	$172,5-0,118j$

4.3 Расчет токов по законам Кирхгофа

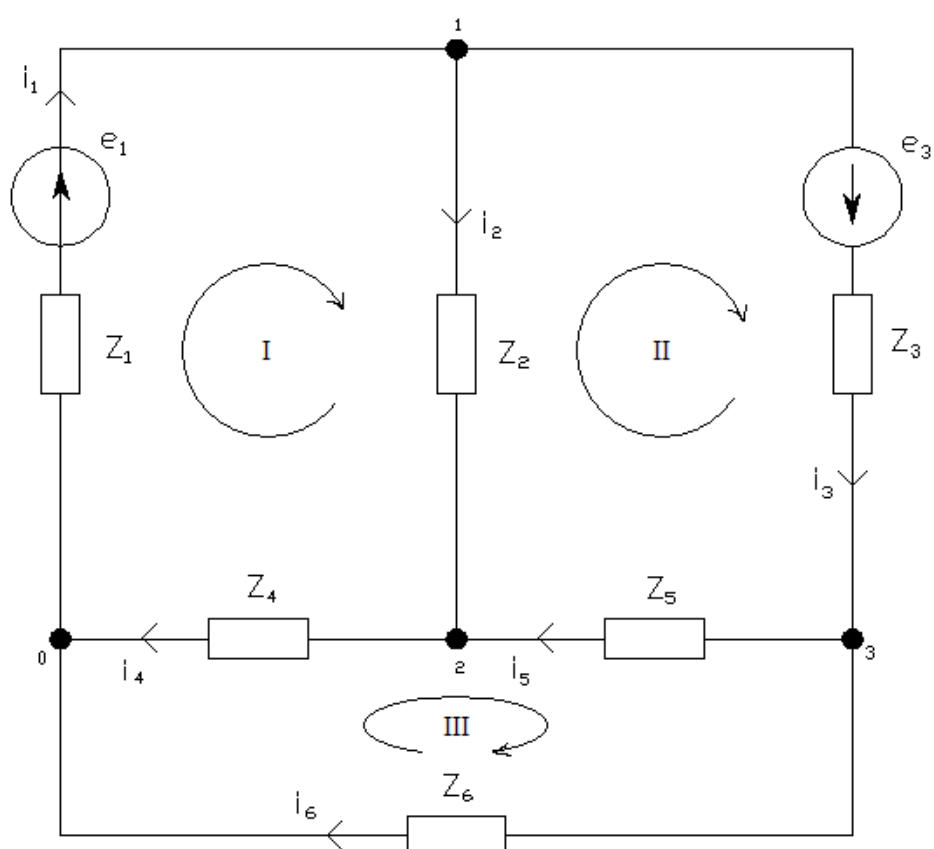


Рисунок 10 – ЭлСх для расчёта по ПЗК и ВЗК

Рассмотрим комплексную схему замещения, изображенную на рисунке 10. Количество узлов в данной схеме $N_y = 4$, количество ветвей $N_6 = 6$, тогда количество уравнений по первому и второму закону Кирхгофа будет составлять:

$$N_{ПЗК} = N_y - 1 = 3$$

$$N_{ВЗК} = N_B - N_y + 1 - N_T = 3$$

Тогда на основании первого и второго закона Кирхгофа можно составить систему уравнений:

$$\begin{cases} i_1 - i_4 - i_6 = 0 \\ i_2 + i_3 - i_1 = 0 \\ i_5 + i_6 - i_3 = 0 \\ Z_1 + Z_2 + Z_4 = e_1 \\ Z_3 + Z_5 - Z_2 = e_3 \\ Z_6 - Z_5 - Z_4 = 0 \end{cases}$$

В результате решения данной системы можно найти токи во всех ветвях комплексной схемы замещения. Расчетные значения токов в ветвях представлены в таблице 13.

Рассчитаем напряжение на всех ветвях цепи. Значения найденных напряжений сведены в таблицу 13:

$$\begin{aligned} u_1 &= i_1 \cdot Z_1 & u_4 &= i_4 \cdot Z_4 \\ u_2 &= i_2 \cdot Z_2 & u_5 &= i_5 \cdot Z_5 \\ u_3 &= i_3 \cdot Z_3 & u_6 &= i_6 \cdot Z_6 \end{aligned}$$

4. 4 Расчет токов методом контурных токов

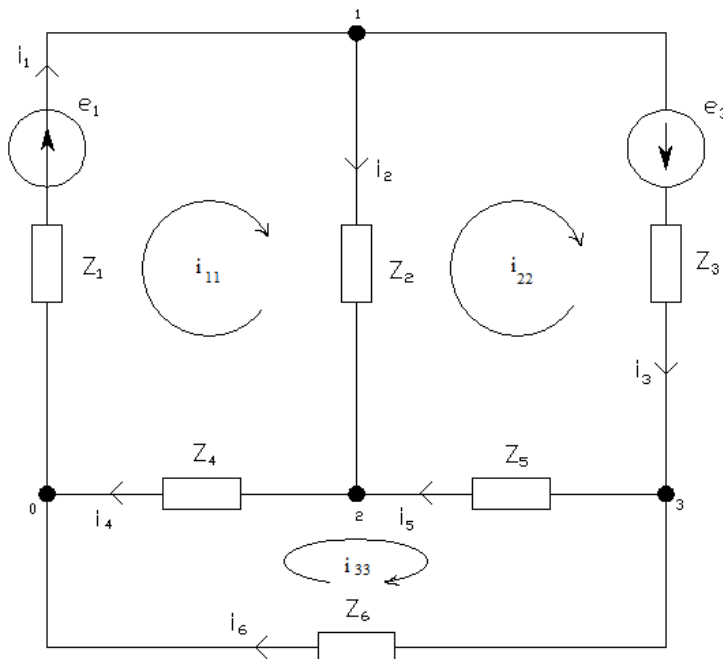


Рисунок 11 – ЭлСх для расчёта по МКТ

Рассмотрим комплексную схему замещения, изображенную на рисунке 11. Обозначим контурные токи через J_{11} , J_{22} , J_{33} . Составим по второму закону Кирхгофа три уравнения:

$$\begin{cases} i_{11} \cdot (Z_1 + Z_2 + Z_4) - i_{22} \cdot Z_2 - i_{33} \cdot Z_4 = e_1 \\ -i_{11} \cdot Z_2 - i_{22} \cdot (Z_2 + Z_3 + Z_5) - i_{33} \cdot Z_5 = e_3 \\ -i_{11} \cdot Z_4 - i_{22} \cdot Z_5 - i_{33} \cdot (Z_4 + Z_5 + Z_6) = 0 \end{cases}$$

Решив данную систему находим контурные токи во всех ветвях комплексной схемы замещения. Значения контурных токов представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Значения контурных токов в Амперах

i_{11}	i_{22}	i_{33}
1,134+0,202j	0,007-0,006j	0,005-0,003j

Теперь можно рассчитать токи в ветвях схемы замещения и, соответственно, напряжения ветвей:

$$\begin{aligned} i_1 &= i_{11} & u_1 &= i_1 \cdot Z_1 \\ i_2 &= i_{11} - i_{22} & u_2 &= i_2 \cdot Z_2 \\ i_3 &= i_{22} & u_3 &= i_3 \cdot Z_3 \\ i_4 &= i_{11} - i_{33} & u_4 &= i_4 \cdot Z_4 \\ i_5 &= i_{22} - i_{33} & u_5 &= i_5 \cdot Z_5 \\ i_6 &= i_{33} & u_6 &= i_6 \cdot Z_6 \end{aligned}$$

Значения найденных токов и потенциалов сведены в таблицу 13 соответственно.

4.5 Расчет токов методом узловых потенциалов

Предположим, что в схеме, изображенной на рисунке 10, потенциал узла 2 равен нулю. Тогда можно записать систему, используя метод узловых потенциалов:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_0 \cdot \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_4} + \frac{1}{Z_6} \right) - \frac{\varphi_1}{Z_1} - \frac{\varphi_3}{Z_6} = \frac{e}{Z_1} \\ \frac{-\varphi_0}{Z_1} + \varphi_1 \cdot \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right) - \frac{\varphi_3}{Z_3} = \frac{e_1}{Z_1} - \frac{e_3}{Z_3} \\ \frac{-\varphi_0}{Z_6} - \frac{\varphi_1}{Z_3} + \varphi_3 \cdot \left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_5} + \frac{1}{Z_6} \right) = \frac{e_3}{Z_3} \end{array} \right.$$

Решив систему находим потенциалы во всех узлах комплексной схемы замещения. Значения найденных потенциалов представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Значения потенциалов в узлах схемы замещения в Вольтах

φ_0	φ_1	φ_3
177,614+185,204i	368,126-184,828i	352,833-147,065i

Выразим при помощи закона Ома токи в ветвях цепи. Рассчитанные значения токов сведены в таблицу 13:

$$\begin{array}{ll} i_1 = \frac{u_1}{Z_1} & i_4 = \frac{u_4}{Z_4} \\ i_2 = \frac{u_2}{Z_2} & i_5 = \frac{u_5}{Z_5} \\ i_3 = \frac{u_3}{Z_3} & i_6 = \frac{u_6}{Z_6} \end{array}$$

Следующим шагом найдём напряжение на всех ветвях схемы. Рассчитанные значение напряжений сведены в таблицу 13:

$$\begin{aligned}
 u_1 &= \varphi_0 - \varphi_1 + e_1 \\
 u_2 &= \varphi_1 - \varphi_2 \\
 u_3 &= \varphi_1 - \varphi_3 + e_3 \\
 u_4 &= \varphi_2 - \varphi_0 \\
 u_5 &= \varphi_3 - \varphi_2 \\
 u_6 &= \varphi_3 - \varphi_0
 \end{aligned}$$

4.6 Результаты расчетов токов в ветвях

Таблица 13 – Результаты расчёта токов и напряжений тремя методами

k	ПЗК и ВЗК		МКТ		МУН	
	i_k, A	u_k, B	i_k, A	u_k, B	i_k, A	u_k, B
1	1,134+0,202j	263,289+294,882j	1,134+0,202j	263,289+294,882j	1,134+0,202j	263,289+294,882j
2	1,126+0,209j	0,066-0,359j	1,126+0,209j	0,066-0,359j	1,126+0,209j	0,066-0,359j
3	0,007-0,006j	0,487-0,458j	0,007-0,006j	0,487-0,458j	0,007-0,006j	0,487-0,458j
4	1,128+0,205j	0,081-0,444j	1,128+0,205j	0,081-0,444j	1,128+0,205j	0,081-0,444j
5	0,002-0,003j	0,81-0,118j	0,002-0,003j	0,81-0,118j	0,002-0,003j	0,81-0,118j
6	0,005-0,003j	0,891-0,562j	0,005-0,003j	0,891-0,562j	0,005-0,003j	0,891-0,562j

4.7 Проверка расчётов с помощью условия баланса мощностей:

$$P_{ист} = P_{нагр}$$

$$P_{ист} = e_1 \cdot i_1 + e_3 \cdot i_3 = 239.303 + 386.53i$$

$$P_{нагр} = \sum_{k=1}^6 \left[(i_k)^2 \cdot Z_k \right] = 239.303 + 386.53i$$

График изменения потенциала представлен на рисунке 12:

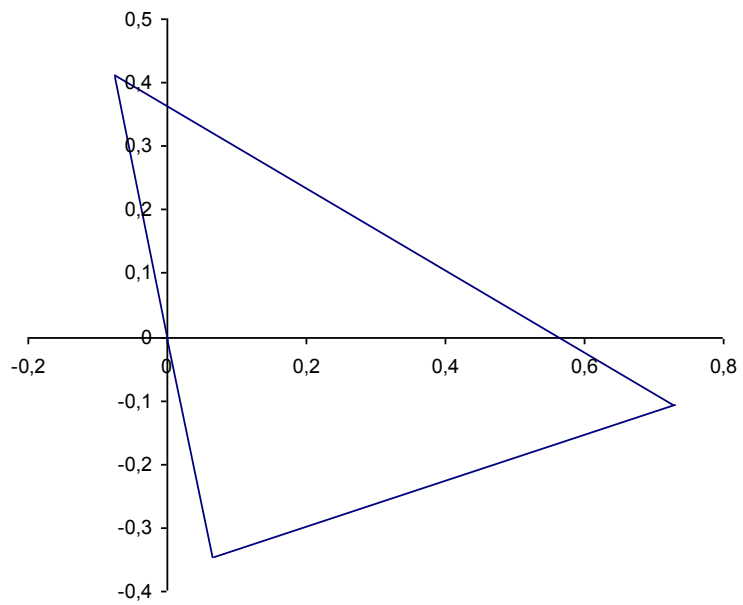


Рисунок 12 – График изменения комплексного потенциала вдоль внешнего контура схемы

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Учебная дисциплина: Теоретические основы электротехники
Изделие: Электрическая цепь

Цель работы: приобретение практических навыков расчета сложных линейных электрических цепей постоянного и гармонического тока в установившемся режиме.

1. Исходные данные

1.1 Задание 1:

Необходимо подготовить ответ на теоретический вопрос в соответствии со своим вариантом.

1.2 Задание 2:

Для электрической схемы, приведенной в таблице ниже (номер схемы выбирается по варианту), полагая, что значение сопротивлений, токов источников тока, Э.Д.С. источников напряжения известны, выполнить следующее:

- а) составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для расчета токов во всех ветвях схемы;
- б) определить токи и напряжения всех ветвей схемы по МКТ и МУН. Результаты расчетов токов и напряжений свести в таблице для сравнения;
- в) проверить условие баланса мощностей (если схема преобразовывалась);
- г) определить показания вольтметра V ;
- д) построить в выбранном масштабе график изменения потенциалов вдоль внешнего контура схемы.

В расчетах значения активных и пассивных элементов ветвей принять теми же, что и в предыдущей задаче, за исключением одного из сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 и R_9 , которые могут быть равны нулю или бесконечности.

Активные и пассивные элементы схемы имеют следующие значения:

$$I_0 = M_1 \text{ А}; \quad I_{01} = 2 \cdot M_1 \text{ А}; \quad E_2 = 100 \cdot M_2 \text{ В}; \quad E_3 = 100 \cdot M_3 \text{ В};$$

$$R_1 = 500 \cdot M_1 \text{ Ом}; \quad R_2 = 10 \cdot M_5 \text{ Ом}; \quad R_3 = 20 \cdot M_4 \text{ Ом}; \quad R_4 = 100 \cdot M_3 \text{ Ом};$$

$$R_5 = 200 \cdot M_2 \text{ Ом}; \quad R_6 = 300 \cdot M_1 \text{ Ом}; \quad R_7 = 400 \cdot M_2 \text{ Ом}; \quad R_8 = 300 \cdot M_3 \text{ Ом};$$

$$R_9 = 200 \cdot M_4 \text{ Ом}; \quad R_{10} = 100 \cdot M_5 \text{ Ом};$$

где $M_k = 1 + 0,1 \cdot k \cdot n/m$

$$k = 1, 2, 3, 4, 5,$$

n - номер варианта,

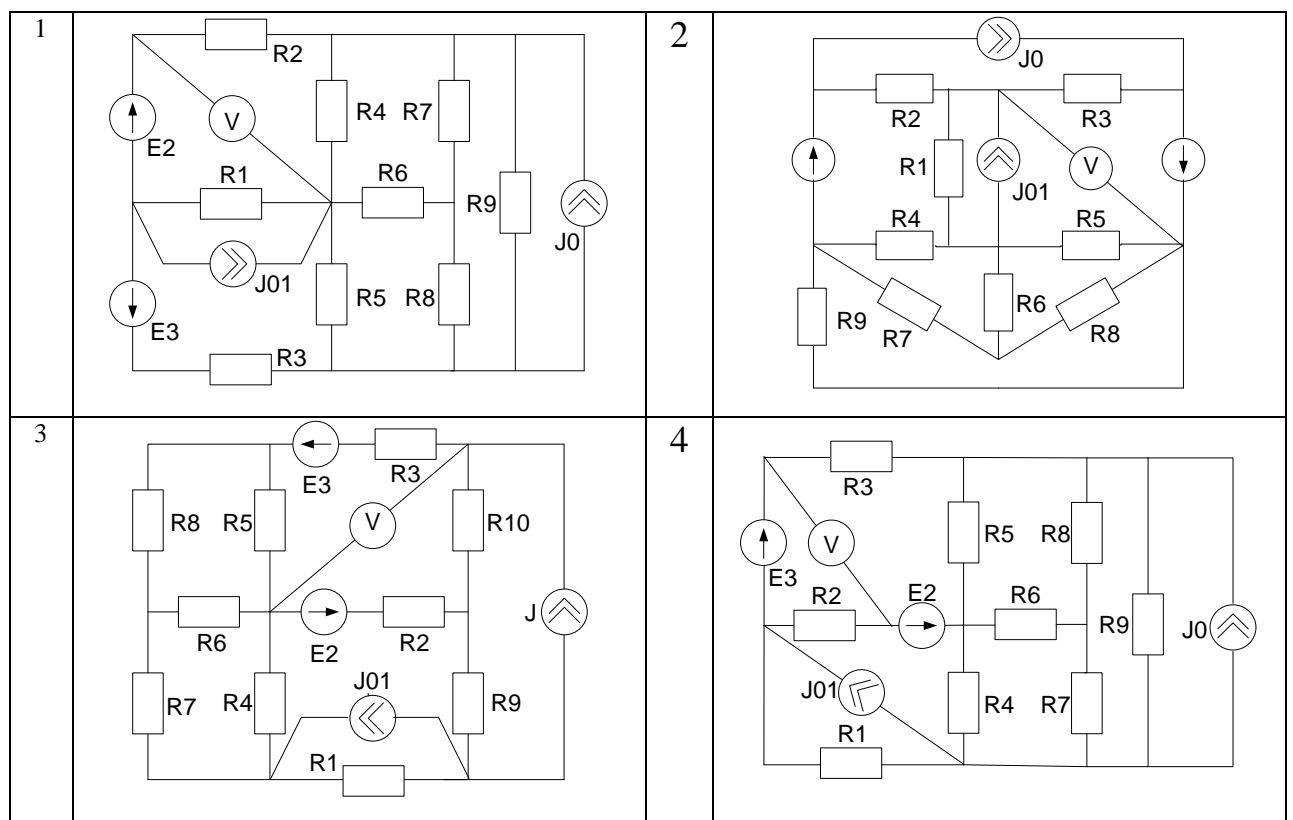
m – цифра номера группы.

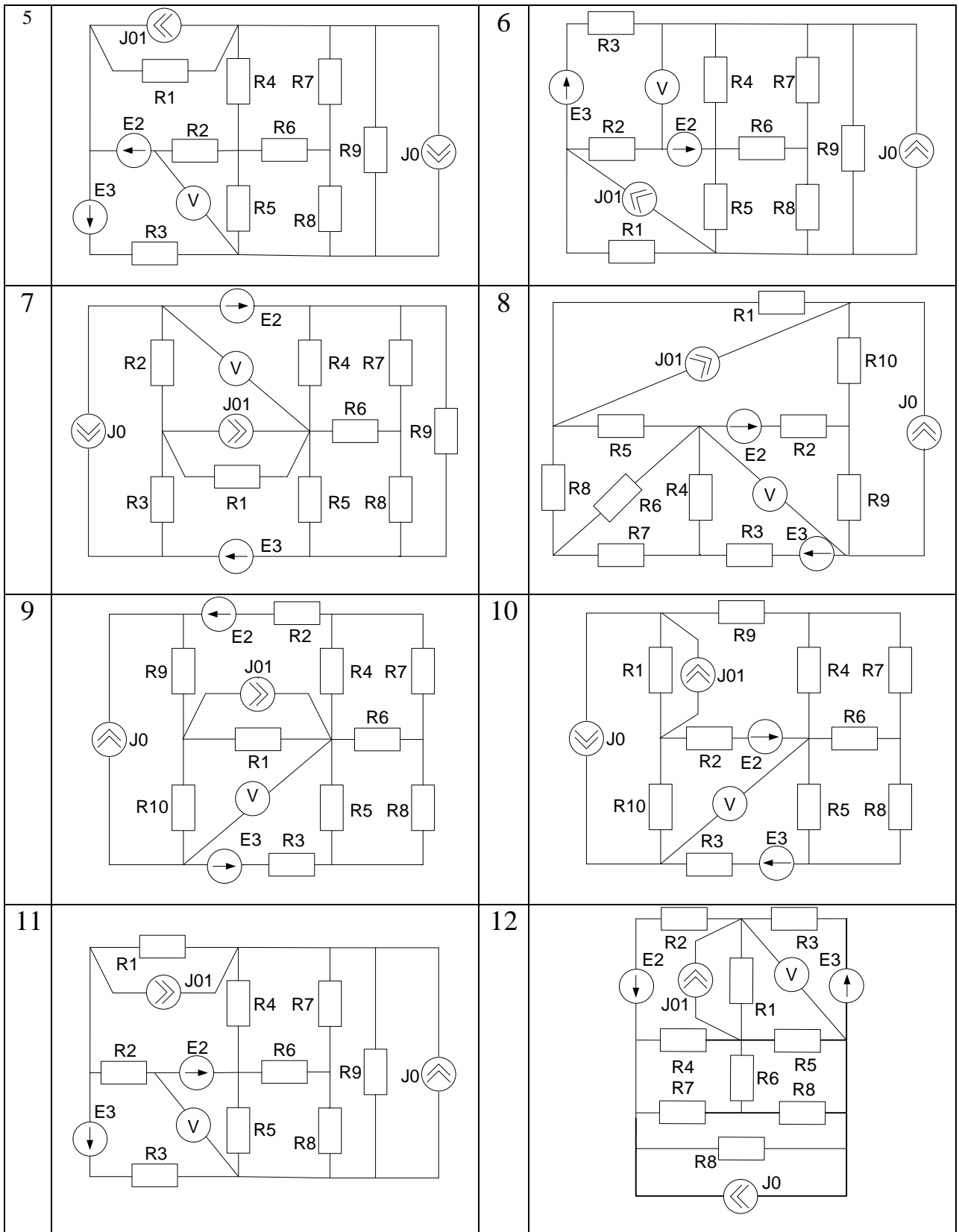
Примечание:

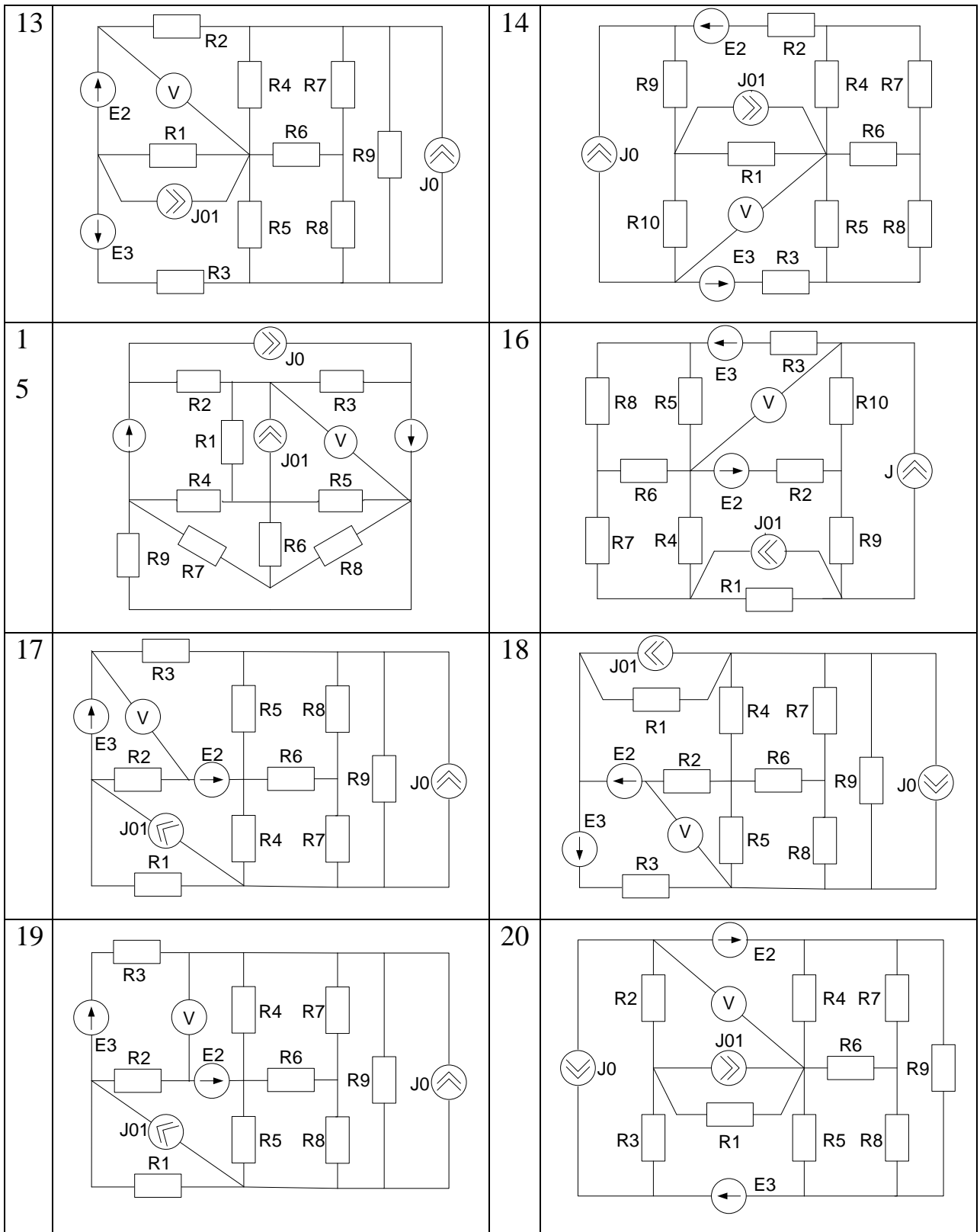
1. Номер варианта совпадает с порядковым номером, под которым записана фамилия студента в журнале группы.
2. Внутреннее сопротивление вольтметра предполагается бесконечно большим.
3. ИТ и ИН, ток и ЭДС которых равны нулю, на электрической схеме не показывать.
4. Номера ИТ и ИН, значение которых отлично от нуля приведены в таблице:

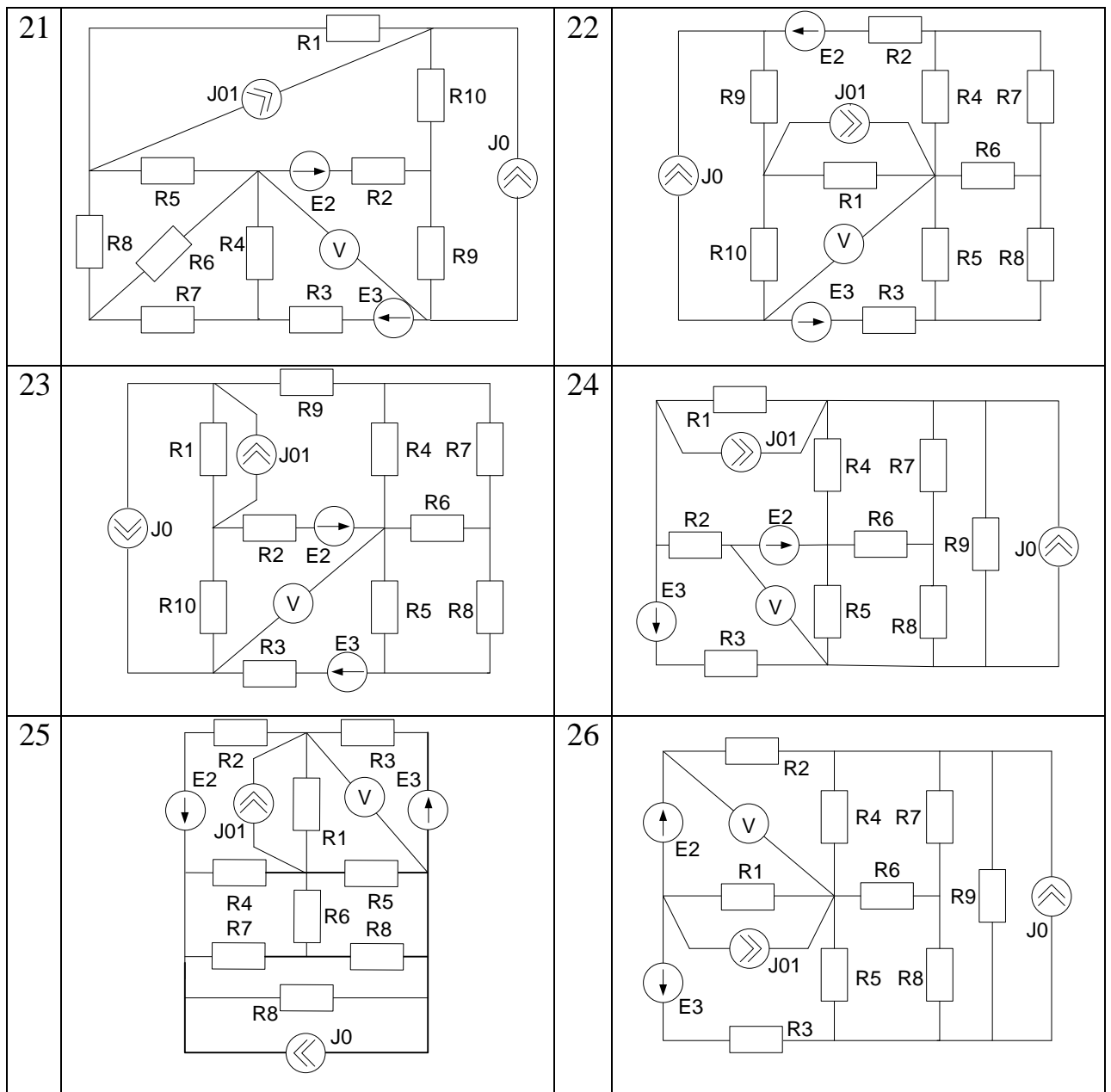
Вариант	Ж или Е	Вариант	Ж или Е	Вариант	Ж или Е
1	1	10	2	19	3
2	1	11	0	20	1
3	2	12	1	21	3
4	0	13	1	22	1
5	3	14	1	23	2
6	3	15	1	24	0
7	1	16	2	25	1
8	3	17	0	26	1
9	1	18	3		

Таблица 14 – ЭлСх для второго задания



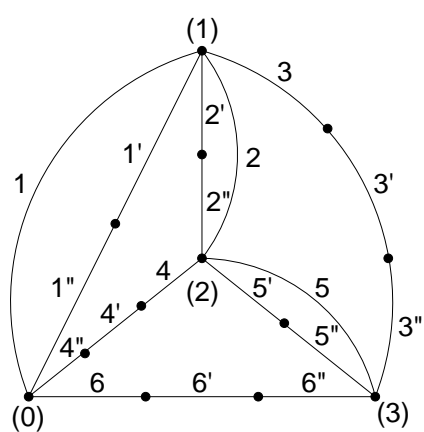




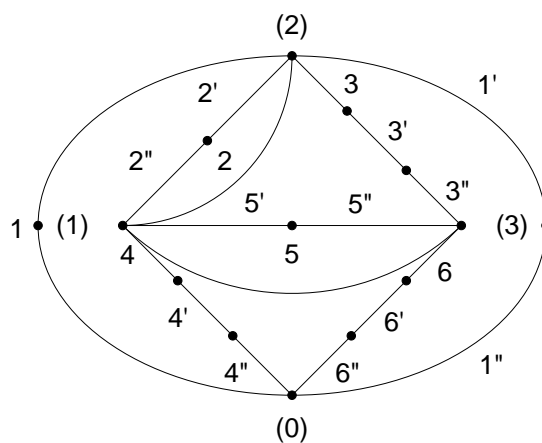


1.3 Задание 3:

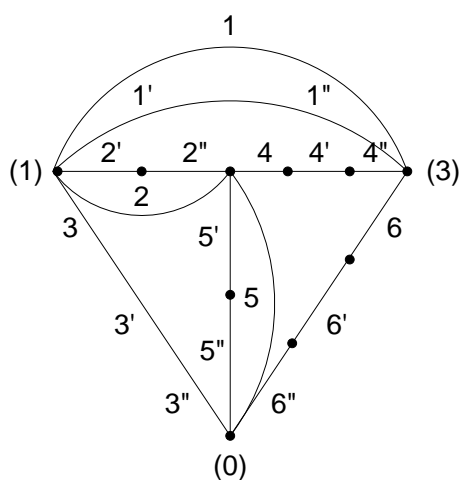
На рисунке 13 изображены расширенные графы электрических цепей. Граф выбирается по варианту из таблицы 15. Типы элементов ветвей приведены в этой же таблице.



a)



б)



в)

Рисунок 13 – Расширенные графы электрических цепей

Для него необходимо выполнить следующее:

- 1) для заданного графа ЭЦ изобразить электрическую схему цепи для мгновенных значений;
- 2) изобразить комплексную схему замещения;
- 3) на основании законов Кирхгофа составить систему уравнений для расчёта комплексных действующих значений токов во всех ветвях цепи;

4) определить комплексные действующие значения токов и напряжений ветвей по МКТ и МУН. Результаты расчётов свести в таблицу;

5) проверить выполнение условия баланса мощностей в цепи;

6) в масштабе построить график изменения комплексного потенциала вдоль внешнего контура схемы.

Частота, мгновенные значения гармонических токов и ЭДС ИГ и ИН, а также параметры пассивных элементов ветвей имеют следующие значения:

$$f = 0,5 \cdot m \text{ кГц};$$

$$j_1(t) = \sqrt{2}M_1 \cdot \cos[\omega t + (m-1) \cdot 10^\circ] \text{ А}; \quad j_2(t) = \sqrt{2}M_2 \cdot \cos[\omega t + (m-2) \cdot 20^\circ] \text{ А};$$

$$j_5(t) = \sqrt{2}M_3 \cdot \cos[\omega t + (m-3) \cdot 30^\circ] \text{ А}; \quad e_3(t) = \sqrt{2}M_1 \cdot \cos[\omega t - (m-1) \cdot 10^\circ] \text{ В};$$

$$e_4(t) = \sqrt{2}M_2 \cdot \cos[\omega t - (m-2) \cdot 20^\circ] \text{ В} \quad e_6(t) = \sqrt{2}M_3 \cdot \cos[\omega t - (m-3) \cdot 30^\circ] \text{ В};$$

$$R_1 = 200 \cdot M_3 \text{ Ом}; \quad L_1 = 50 \cdot M_3 / m \text{ мГн}; \quad C_1 = M_1 / m \text{ мкФ};$$

$$R_2 = 400 \cdot M_2 \text{ Ом}; \quad L_2 = 100 \cdot M_2 / m \text{ мГн}; \quad C_2 = 0,8 \cdot M_2 / m \text{ мкФ};$$

$$R_3 = 50 \cdot M_3 \text{ Ом}; \quad L_3 = 20 \cdot M_3 / m \text{ мГн}; \quad C_3 = 4 \cdot M_1 / m \text{ мкФ};$$

$$R_4 = 100 \cdot M_2 \text{ Ом}; \quad L_4 = 40 \cdot M_2 / m \text{ мГн}; \quad C_4 = 3 \cdot M_2 / m \text{ мкФ};$$

$$R_5 = 600 \cdot M_1 \text{ Ом}; \quad L_5 = 150 \cdot M_1 / m \text{ мГн}; \quad C_5 = 0,6 \cdot M_3 / m \text{ мкФ};$$

$$R_6 = 150 \cdot M_1 \text{ Ом}; \quad L_6 = 60 \cdot M_1 / m \text{ мГн}; \quad C_6 = 2 \cdot M_3 / m \text{ мкФ};$$

$$\text{где } M_1 = 1 + 0,15 \cdot n / m; \quad M_2 = 1 + 0,25 \cdot n / m; \quad M_3 = 1 + 0,35 \cdot n / m;$$

n - соответствует номеру варианта;

m - равно последней цифре в номере группы.

Таблица 15 – Типы элементов ветвей

Вариант	Рисунок	1	1'	1''	2	2'	2''	3	3'	3''	4	4'	4''	5	5'	5''	6	6'	6''
1	б	L_1	C_1	-	L_2	C_2	-	R_3	L_3	-	e_4	R_4	L_4	$-j_5$	R_5	L_5	R_6	-	C_6
2	б	j_1	R_1	C_1	$-j_2$	R_2	L_2	-	L_3	C_3	R_4	-	C_4	R_5	L_5	-	-	L_6	C_6
3	б	R_1	L_1	C_1	j_2	R_2	L_2	R_3	-	C_3	-	L_4	C_4	R_5	L_5	-	e_6	R_6	-
4	б	j_1	R_1	L_1	R_2	L_2	C_2	R_3	-	-	-	L_4	C_4	R_5	-	C_5	e_6	R_6	C_6
5	а	L_1	C_1	-	R_2	L_2	C_2	R_3	-	-	e_4	R_4	C_4	j_5	R_5	L_5	R_6	L_6	-
6	б	j_1	R_1	L_1	L_2	C_2	-	$-e_4$	R_3	C_3	R_4	L_4	C_4	R_5	-	C_5	R_6	-	-
7	б	L_1	C_1	-	R_2	L_2	C_2	e_3	R_3	L_3	-	L_4	C_4	j_5	R_5	C_5	-	-	C_6
8	в	R_1	L_1	C_1	j_2	R_2	C_2	-	L_3	C_3	-	L_4	C_4	R_5	-	C_5	e_6	R_6	-
9	б	j_1	R_1	L_1	R_2	L_2	C_2	R_3	-	-	e_4	R_4	C_4	R_5	-	L_5	R_6	-	C_6
10	в	R_1	L_1	C_1	L_2	C_2	-	-	L_3	C_3	R_4	-	-	j_5	R_5	C_5	$-e_6$	R_6	L_6
11	а	j_1	R_1	L_1	j_2	R_2	C_2	R_3	-	C_3	-	L_4	C_4	R_5	-	C_5	-	L_6	C_6
12	б	L_1	C_1	-	j_2	R_2	L_2	-	L_3	C_3	e_4	R_4	C_4	R_5	L_5	-	-	L_6	C_6
13	б	L_1	C_1	-	L_2	C_2	-	R_3	L_3	-	e_4	R_4	L_4	$-j_5$	R_5	L_5	R_6	-	C_6

14	\bar{b}	j_1	R_1	L_1	R_2	L_2	C_2	R_3	-	-	e_4	R_4	C_4	R_5	-	L_5	R_6	-	C_6
15	\bar{b}	j_1	R_1	C_1	$-j_2$	R_2	L_2	-	L_3	C_3	R_4	-	C_4	R_5	L_5	-	-	L_6	C_6
16	\bar{b}	R_1	L_1	C_1	j_2	R_2	L_2	R_3	-	C_3	-	L_4	C_4	R_5	L_5	-	e_6	R_6	-
17	\bar{b}	j_1	R_1	L_1	R_2	L_2	C_2	R_3	-	-	-	L_4	C_4	R_5	-	C_5	e_6	R_6	C_6
18	a	L_1	C_1	-	R_2	L_2	C_2	R_3	-	-	e_4	R_4	C_4	j_5	R_5	L_5	R_6	L_6	-
19	\bar{b}	j_1	R_1	L_1	L_2	C_2	-	$-e_4$	R_3	C_3	R_4	L_4	C_4	R_5	-	C_5	R_6	-	-
20	\bar{b}	L_1	C_1	-	R_2	L_2	C_2	e_3	R_3	L_3	-	L_4	C_4	j_5	R_5	C_5	-	-	C_6
21	b	R_1	L_1	C_1	j_2	R_2	C_2	-	L_3	C_3	-	L_4	C_4	R_5	-	C_5	e_6	R_6	-
22	\bar{b}	j_1	R_1	L_1	R_2	L_2	C_2	R_3	-	-	e_4	R_4	C_4	R_5	-	L_5	R_6	-	C_6
23	b	R_1	L_1	C_1	L_2	C_2	-	-	L_3	C_3	R_4	-	-	j_5	R_5	C_5	$-e_6$	R_6	L_6
24	a	j_1	R_1	L_1	j_2	R_2	C_2	R_3	-	C_3	-	L_4	C_4	R_5	-	C_5	-	L_6	C_6
25	\bar{b}	L_1	C_1	-	j_2	R_2	L_2	-	L_3	C_3	e_4	R_4	C_4	R_5	L_5	-	-	L_6	C_6
26	\bar{b}	L_1	C_1	-	L_2	C_2	-	R_3	L_3	-	e_4	R_4	L_4	$-j_5$	R_5	L_5	R_6	-	C_6

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1. – 4-е изд. / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. – СПб.: Питер, 2003.
2. Коровкин Н.В., Селина Е.Е., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники: Сборник задач. – СПб.: Питер, 2004.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник. – М.: Гардарики, 2000.
4. Бессонов Л.А. и др. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. М.: Высшая школа, 2000.
5. Шебес М.Р., Каблукова М.В. Задачник по теории линейных электрических цепей: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1990.
6. Дьяконов В.П. MathCAD 2000: учебный курс – СПб: Питер, 2000.

