**Министерство транспорта Российской Федерации**

**Федеральное Агентство морского и речного транспорта**

**Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение**

**высшего профессионального образования**

**«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АДМИРАЛА Ф.Ф. УШАКОВА»**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

**Курсовая, расчетно-графическая работа**

**Квалификация (степень) выпускника *специалист***

**Направление подготовки 180405, *180407***

**«*Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики судов»***

**Факультет СМФ, «Судомеханический факультет»**

**Кафедра ЭСЭСА, «Эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики»**

**Курс 2 Семестр 3**

Новороссийск - 2013 г.

**Основные требования к курсовой работе**

Выполнение курсовой работы является обязательной частью учебного процесса по дисциплине «Теоретические основы электротехники». Целью выполнения курсовой работы является проверка степени усвоения изучаемого материала и умения применять полученные знания для расчёта электрических цепей с применением современных методов и методик. В работе выполняются расчеты электрических цепей синусоидального тока с использованием методов, изучаемых в теоретической части курса. Результаты расчета проверяются путем компьютерного моделирования рассчитанной схемы.

**Содержание работы**

| Наименование разделов | №  темы | Наименование задания | Основная задача | Нормативные документы | Литература | Учебно-методический материал |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Теория линейных электрических цепей | 1.2  1.3 | Расчет разветвленной электрической цепи синусоидального тока | Применение методов проводимостей и символического (комплексного) методов, методов графов для расчета. Построение векторных и потенциальных диаграмм. | НМ4, НМ5, НМ6 | Л2, Л3, Л5, Л6 |  |
| 1.4  1.5 | Расчет сложных электрических цепей при периодических э.д.с. | Получение навыков расчета сложных электрических цепей различными методами и построения векторных и потенциальных диаграмм для многоконтурных схем. | НМ4, НМ5, НМ6 | Л2, Л3, Л5, Л6 | М1 |
| 1.2-1.5 | Компьютерное моделирование электрических цепей | Получение навыков компьютерного моделирования электрических цепей в среде Electronics Workbench | НМ4, НМ5, НМ6 | Л2, Л3, Л5, Л6 | М2 |

**Сроки выполнения курсовой работы**

В работе решить задачи. Задачи решаются во время самостоятельной подготовки и предъявляются преподавателю на практических занятиях (консультациях).

***Контрольные сроки сдачи работ (рекомендуемые): 8, 12, 16 недели второго семестра.***

***Контрольный срок защиты работ: последнее практическое занятие по предмету во втором семестре.***

**Методические указания к выполнению работ**

Курсовые работы многовариантны. Номер варианта выбирается по списку группы. Курсовая работа выполняется на пронумерованных стандартных листах бумаги А4 ручным способом. Допускается вставка графиков, осциллограмм, распечатанных на принтере. Электрические схемы рисуются вручную в соответствии с требованиями ЕСКД.

Каждая задача курсовой работы должна содержать: титульный лист, условие задания, исходные данные, расчётно - графическую часть и заключение.

Титульный лист оформляется по типовому образцу.

Условие задания и исходные данные переписываются согласно заданию без сокращений.

В пояснительной записке следует привести текстовые пояснения, необходимые для ясного понимания существа работы, электрические схемы и их графы, основные математические формулы, системы уравнений, распечатки основных результатов расчета, графические зависимости, векторные диаграммы, выводы по результатам анализа каждой электрической цени, список использованной литературы.

Расчётно - графическая часть выполняется в порядке и в соответствии с поставленными в условиях задачи вопросами. Все расчёты, построения и иные действия должны поясняться. Схемы и таблицы выполняются с применением чертёжных инструментов.

Формулы с расчётом выполняются в одну строку. Единицы измерения расчетных величин должны указываться в системе СИ.

Графики или блок – схемы алгоритмов строятся после соответствующего выбора стандартных масштабов по осям. Это могут быть масштабы 1\*10*n* , 2 \*10*n* или 5\*10*n* физических единиц на единицу длины. Если на одном рисунке показываются графики разных физических величин (например, ток и напряжение), то для каждой физической величины строится своя ось, располагаемая либо слева, либо справа от рабочего поля графика. Рекомендуемая площадь графика – половина стандартного листа А4.

Если в курсовой работе допущены существенные ошибки, то отчёт возвращается курсанту на доработку. Работа над ошибками выполняется на дополнительных листах, прикладываемых к отчёту, либо размещаемых внутри ранее написанного текста. Исправления по тексту работы не допустимы. Работу рекомендуется скреплять канцелярскими скрепками или представлять в папках - файлах.

В разделе 3 работы выполняется проверочное моделирование рассчитанных в разделах 1 и 2 электрических схем в компьютерной среде Electronics Workbench (EWB). Допускается использование для этой цели демонстрационной версии программы, свободно предоставляемой компанией для пользователей. Однако следует учитывать, что версия является не полнофункциональной.

В этом разделе в пояснительной записке должна быть представлена распечатка электрической схемы в соответствии с Вашим вариантом, смоделированной в программе EWB, на которой показаны в рабочем режиме измерительные приборы с демонстрацией значений измеренных величин, осциллограф, с показанием результатов измерений фазовых сдвигов между измеренными величинами.

Файл с результатами моделирования электрической схемы в среде EWB представляется в электронном виде записанным на носителе при защите курсовой работы.

**Библиография**

Библиографический аппарат дипломной (курсовой) работы представляется библиографическим списком и библиографическими ссылками, которые оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-84 "Библиографическое описание документов" и ГОСТ 7.1-76 "Библиографическое описание произведений печати".

Библиографическое описание можно условно разделить на две части: нормативные правовые акты и научная методическая литература.

Нормативные правовые акты располагаются в соответствии с их юридической силой:

международные законодательные акты — по хронологии;

Конституция РФ;

кодексы — по алфавиту;

законы РФ — по хронологии;

указы Президента РФ — по хронологии;

акты Правительства РФ — по хронологии;

• акты министерств и ведомств в последовательности — приказы, постановления, положения, инструкции министерства — по алфавиту, акты — по хронологии.

В списке использованной литературы должно быть указано полное название акта, дата его принятия, номер, а также официальный источник опубликования.

Например:

Федеральный закон от 19.05.1995 N 82-ФЗ "Об общественных объединениях" //Собрание законодательства Российской Федерации, 1995. -№21, ст. 1930.

Библиографическое описание составляют непосредственно по произведению печати или выписывают из каталогов и библиографических указателей полностью, без пропусков каких-либо элементов, сокращений заглавий и т.п.

Ниже приведены примеры библиографического описания различных видов произведений печати.

**Книги одного, двух, трех и более авторов**

Петров В.Н. Информационные системы. Учебник для вузов. -М, 2003 г. - 187 с.

Ефремов О.В., Беляев П.С. Информационные системы в науке, образовании и бизнесе. Учебное пособие. - М., Издательство ТГТУ. Тамбов, 2006. -156 с.

**Сборник одного автора**

Методологические проблемы современной науки/Сост. А.Т. Москаленко. — М.: Политиздат, 1979. — 295 с.

**Сборник с коллективным автором**

Основы современных компьютерных технологий: Учебное пособие/ Под ред. Проф. Хомоненко А.Д./ СПб.: КОРОНА принт, 1998. - 448 с.

**Защита работы**

Отчёт по работе подлежит защите. Защита работ осуществляется в часы практических или согласованных с преподавателем дополнительных занятий.

Защита выполненной работы заключается в собеседовании по теме работы. Преподаватель уточняет полноту и степень теоретического и практического изучения исследуемого явления, знание методологии выполнения расчётов, умение анализировать полученные данные и принимать решение о выборе приемлемого варианта расчёта. Если курсант затрудняется в ответах, ему даётся время для дополнительной подготовки.

Успешная защита работ фиксируется зачётом по курсовой работе и отметкой о теме работе в разделе «Практическая работа» зачётной книжки курсанта.

**Особые условия.**

Дополнительные занятия с курсантами, не выполнившими работу своевременно, осуществляются на согласованных с деканатом и преподавателем условиях.

Успешно выполнившим контрольные работы курсантам может быть предоставлено освобождение от процедуры защиты работ, и иные льготы.

В качестве примера приведен вариант выполнения курсовой работы, который выполнен с применением компьютерной программы Mathcad. Возможно выполнение работы и без применения ЭВМ.

Ниже приводится вариант оформления титульного листа курсовой работы.

**Министерство транспорта Российской Федерации**

**Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования**

**«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АДМИРАЛА Ф.Ф. УШАКОВА»**

Кафедра **«Эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики»**

***Специальность 180407* «*Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики судов»***

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовой работе по дисциплине «Теоретические основы электротехники»

АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Вариант\_\_26\_\_\_

Руководитель к.т.н., доцент Самойленко В.Ф.

Выполнил курсант группы \_\_\_431 ЗФ\_\_\_\_ Денисенко М.В.

Новороссийск 2014

**1. Общие указания**

1.1.Курсовая работа по ТОЭ «Анализ линейных электрических цепей " выполняется курсантами и защищается на протяжении второго семестра на практических занятиях и консультациях. Она состоит из трех частей и фактически отражает все этапы лекционного и лабораторного практикума первого семестра. Задание на проектирование выдается курсантам в начале второго семестра.

1.2. В первой части работы методами узловых потенциалов и экви­валентного генератора рассчитывается установившийся режим в электрических цепях с гармоническими источниками тока и напряжения. Во второй части работы анали­зируется схема той же структуры, но с учетом взаимоиндуктивных связей между катушками. Системы уравнений записываются и решаются в матричной форме. Результаты расчета представляются в цифровом и графическом виде, и иллюстрируются векторными диаграммами.

1.3. В третьей части работы выполняется компьютерное моделирование рассчитанной в первом разделе электрической цепи в среде Electronics Workbench.

При формировании систем уравнений используются матричные методы. Выполнение первой и второй части курсовой работы возможно с использованием одного из программных компьютерных пакетов: MathCAD , Matlab и других, в которых имеются возможности матричного решения задач. Однако по желанию исполнителя допускается и обычное решение задачи.

1.4.Индивидуальные задания содержат типовые варианты линейных электрических цепей из шести ветвей и задаются в виде таблиц с расшифровкой конкретных номиналов элементов, токов и напряжений. Таблица 1 представляет собой 30 вариантов (заданий), номера которых соответствуют порядковому номеру курсанта в группе, а также состав элементов в ветвях, f - номинал базовой частоты в Гц, а - частотный коэффициент, n – номер ветви заданного графа схемы, э.д.с. е(t) – в В(включается последовательно в ветвь), j(t) – в А(включается параллельно ветви), Емкость С – в мкФ, R – в Ом, сдвиг фаз в градусах, индуктивность в мГн, колонки 11, 12, 13, отражают значения коэффициентов индуктивной связи между катушками соответствующих номеров(например: 0,3 – к13 – это коэффициент связи 0,3 между катушками 1 – й и 3 – й). Таблица 2 отражает величины номиналов элементов по годам. К примеру, 22 – 8 отражает, что номер курсанта в группе 22 -й и номиналы элементов для курсантов, обучающихся в 2008 году.

**2. Расчет установившихся режимов в электрической цепи, состоящей из шести ветвей**

2.1. В соответствии с индивидуальным вариантом (таблица 1) нарисовать граф и раз­вернутую электрическую схему с шестью ветвями без взаимоиндуктивных свя­зей, в соответствии с рис.1-4. Затем выполнить следующее:

* определить ток во всех ветвях методом узловых потенциалов и проверить правильность расчета токов по выполнению первого закона Кирхгофа;
* рассчитать ток в n-й ветви методом эквивалентного генератора;
* вычислить комплексные напряжения на каждом элементе схемы;
* построить векторную диаграмму токов и векторно - топографическую диаграмму напряжений для одного из контуров;
* построить временные зависимости мгновенных значений токов первой и третьей ветвей.
* 2.2. Нарисовать развернутую электрическую схему с взаимоиндуктивны­ми связями, указав на ней (например, точкой) начале обмоток катушек, а затем:
* рассчитать токи во всех ветвях методом контурных токов;
* вычислить комплексные напряжения на всех элементах цепи и проверить правильность расчета (баланс напряжений и ЭДС в контурах);
* построить векторную диаграмму токов и векторно - топографическую диаграмму напряжений для одного из контуров.

**Конфигурация и состав элементов электрической цепи**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 ' |  | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Вар. инд. | №№ схем | Номера ветвей | | | | | | | f | n | 0.3 | 0.5 | 0.4 |
| 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 4 | *RL* | | *RCe* | *RL* | *RLj* | *RLC* | *RC* | 50 | 2 | kl4 | k15 | k35 |
| 2 | 3 | *Re* | | *RLC* | *RLj* | *RC* | *RL* | *LC* | 54 | 4 | k23 | k25 | k36 |
| 3 | 2 | *RL* | | *RCj* | *RLC* | *RL* | *RC* | *Re* | 62 | 2 | k13 | k14 | k34 |
| 4 | 3 | *RLj* | | *RC* | *RLC* | *RCe* | *RC* | *RL* | 56 | 1 | k13 | k36 | k16 |
| 5 | 1 | *RC* | | *RLC* | *RL* | *RLe* | *RL* | *RCj* | 60 | 5 | k23 | k34 | k45 |
| 6 | 3 | *RLC* | | *RL* | *RLe* | *RC* | *RCJ* | *RLC* | 55 | 3 | k12 | k13 | k16 |
| 7 | 2 | *RL* | | *RCe* | *RC* | *RLj* | *RLC* | *RC* | 50 | 6 | kI4 | kl5 | k45 |
| 8 | 4 | *RLe* | | *RC* | *RLj* | *RLC* | *RL* | *RL* | 55 | 3 | k45 | k56 | k13 |
| 9 | 2 | *RL* | | *RLj* | *RLC* | *RL* | *RC* | *RCe* | 60 | 2 | k12 | k34 | k14 |
| 10 | 3 | *RLj* | | *RLC* | *RL* | *RC* | *RLe* | *RLC* | 64 | 5 | k13 | k25 | k16 |
| 11 | 4 | *RLC* | | *RLj* | *RL* | *RLC* | *RC* | *RLe* | 58 | 2 | kl6 | k23 | k34 |
| 12 | 1 | *RL* | | *RC* | *RLe* | *RLC* | *RCj* | *RLC* | 55 | 4 | k14 | k13 | k36 |
| 13 | 2 | *RC* | | *RLe* | *RLC* | *RC* | *LRj* | *RLC* | 70 | 2 | k22 | k36 | k26 |
| 14 | 3 | *RCe* | | *RLC* | *RLj* | *RC* | *RLC* | *RC* | 67 | 3 | k25 | k23 | k35 |
| 15 | 1 | *RLC* | | *RC* | *RLj* | *RLC* | *RC* | *RLe* | 78 | 1 | kl4 | kl3 | k46 |
| 16 | 2 | *RC* | | *RCj* | *RLC* | *RL* | *RLe* | *RLC* | 55 | 2 | k43 | k56 | k46 |
| 17 | 4 | *LRj* | | *RLC* | *RCe* | *RLC* | *RL* | *RC* | 50 | 3 | k24 | k25 | k45 |
| 18 | 3 | *RLC* | | *Re* | *RCj* | *RLC* | *RC* | *RL* | 65 | 5 | k13 | k14 | k46 |
| 19 | 4 | *RL* | | *RCe* | *RLj* | *RLC* | *RC* | *RLC* | 80 | 2 | k46 | k16 | k34 |
| 20 | 2 | *RLe* | | *RLC* | *RC* | *RCj* | *RLC* | *RL* | 58 | 4 | k12 | k15 | k26 |
| 21 | 1 | *RLC* | | *RCj* | *RC* | *RLC* | *RL* | *RCe* | 75 | 6 | k45 | k15 | kl4 |
| 22 | 3 | *RLe* | | *RC* | *RLC* | *RL* | *RCj* | *RLC* | 70 | 5 | k13 | k34 | k16 |
| 23 | 4 | *RC* | | *RLC* | *RL* | *RCe* | *RLC* | *RCj* | 64 | 6 | k23 | k25 | k35 |
| 24 | 2 | *RLC* | | *RL* | *RLe* | *RLC* | *RLj* | *RC* | 68 | 3 | k23 | k25 | k14 |
| 25 | 3 | *RC* | | *RLj* | *RLC* | *RCe* | *RLC* | *RC* | 55 | 4 | k23 | k25 | k35 |
| 26 | 1 | *RLe* | | *RLC* | *RCj* | *RL* | *RLC* | *RL* | 65 | 1 | k12 | k46 | k56 |
| 27 | 4 | *RLC* | | *RLj* | *RL* | *RLC* | *RC* | *RLe* | 58 | 2 | kl6 | k23 | k34 |
| 28 | 2 | *RLe* | | *RL* | *RLC* | *RC* | *RLj* | *RLC* | 80 | 5 | k15 | k13 | k26 |
| 29 | 3 | *RL* | | *RLC* | *RC* | *RLe* | *RLC* | *RCj* | 85 | 6 | k24 | k15 | k25 |
| 30 | 1 | *RLC* | | *RL* | *RLj* | *RLC* | *RC* | *RCe* | 90 | 3 | k24 | k23 | k13 |
| 31 | 3 | *RL* | | *RCe* | *RС* | *RLj* | *RLC* | *RC* | 55 | 3 | kl4 | k15 | K15 |
| 32 | 2 | *RL* | | *RCj* | *RLC* | *RС* | *RLC* | *Re* | 65 | 4 | k13 | k15 | k35 |
| 33 | 4 | *RCe* | | *RC* | *RLj* | *RC* | *RLC* | *RL* | 70 | 1 | K35 | k36 | k56 |
| 34 | 1 | *Re* | | *RLC* | *RLC* | *RL* | *RCj* | *RLC* | 60 | 6 | K23 | k34 | K26 |
| 35 | 4 | *RC* | | *RL* | *RLe* | *RLC* | *RLj* | *RC* | 80 | 2 | k23 | k24 | k45 |
| 36 | 2 | *RLC* | | *RLj* | *RL* | *RC* | *RC* | *RLe* | 65 | 5 | Kl2 | k23 | k36 |
| 37 | 3 | *RC* | | *RLj* | *RLC* | *RL* | *RL* | *RCe* | 70 | 4 | k23 | k34 | k45 |
| 38 | 4 | *RC* | | *RLC* | *RCj* | *RLe* | *RL* | *RLC* | 95 | 2 | k24 | K25 | k56 |
| 39 | 1 | *RLC* | | *RCj* | *RL* | *RL* | *RC* | *RLe* | 55 | 4 | Kl3 | k34 | K46 |
| 40 | 3 | *RL* | | *RLj* | *RC* | *RL* | *RC* | *RLe* | 75 | 1 | Kl2 | k24 | K46 |
| 41 | 2 | *RLC* | | *RCLj* | *RC* | *RC* | *RL* | *RLe* | 65 | 5 | Kl2 | k25 | K56 |
| 42 | 4 | *RC* | | *RLj* | *RL* | *RLC* | *RC* | *RLe* | 80 | 3 | K23 | k34 | k36 |

**Значения параметров источников и элементов электрической цепи**

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Годовой вариант | | | | | | | | | | |
|  | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **0** |
| Em | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 |
|  | 20 | -15 | 45 | -118 | 18 | -170 | 125 | -28 | 42 | -120 |
| а | 1.09 | 1.1 | 1.12 | 1.15 | 1 | 0.95 | 1.21 | 1.24 | 1.05 | 0.9 |
| Jm | 10 | 9,5 | 9 | 8,5 | 8 | 7,5 | 7 | 6,5 | 6 | 5,5 |
|  | -40 | 23 | -80 | 15 | -165 | 18 | -24 | 182 | -50 | 30 |
| R1 | 6 | 8 | 5 | 11 | 14 | 10 | 7 | 9 | 12 | 6 |
| R2 | 8 | 5 | 11 | 4 | 10 | 7 | 9 | 12 | 6 | 10 |
| R3 | 5 | 11 | 4 | 10 | 7 | 9 | 12 | 6 | 10 | 8 |
| R4 | 11 | 4 | 10 | 7 | 9 | 12 | 6 | 10 | 8 | 5 |
| R5 | 4 | 10 | 7 | 9 | 12 | 6 | 10 | 8 | 5 | 11 |
| R6 | 10 | 7 | *9* | 12 | 6 | 10 | 8 | 5 | 11 | 4 |
| L1 | 30 | 50 | 20 | 25 | 40 | 60 | 35 | 50 | 45 | 40 |
| L2 | 50 | 20 | 25 | 40 | 60 | 35 | 50 | 45 | 40 | 30 |
| L3 | 20 | 25 | 40 | 60 | 35 | 50 | 45 | 40 | 30 | 50 |
| L4 | 25 | 40 | 60 | 35 | 50 | 45 | 40 | 30 | 50 | 20 |
| L5 | 40 | 60 | 35 | 50 | 45 | 40 | 30 | 50 | 20 | 25 |
| L6 | 60 | 35 | 50 | 45 | 40 | 30 | 50 | 20 | 25 | 40 |
| C1 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 150 | 200 | 250 | 320 | 180 |
| C2 | 250 | 300 | 350 | 400 | ISO | 200 | 250 | 320 | 180 | 200 |
| C3 | 300 | 350 | 400 | 150 | 200 | 250 | 320 | 180 | 200 | 250 |
| С4 | 350 | 400 | 150 | 200 | 250 | 320 | 180 | 260 | 250 | 300 |
| C5 | 400 | 1500 | 200 | 250 | 320 | 180 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| С6 | 150 | 200 | 250 | 320 | 180 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |

**Графы электрических схем с номерами ветвей кзаданию для курсовых работ**



Рис.1 Рис 2 Рис.3 Рис.4

**4. Примеры выполнения курсовой работы**

4.1. Вариант 0-22

Граф и схема электрической цепи с шестью ветвями представлены на рис.5 и рис. 6 соответственно. Здесь обозначения узлов на топосхеме обведены.



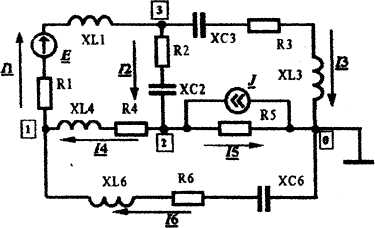


Рис.5. Граф заданной цепи Рис.6. Схема электрическая принципиальная цепи

По данным варианта, выписанным из таблиц 1 и 2, сформируем векторы параметров пассивных элементов ветвей, причем при отсутствии в ветви резистора или катушки индук­тивности в соответствующих строках векторов R и L ставим «О», а если в ветви нет кон­денсатора, то в строке вектора С ставим число «0200».

Отсюда выделяем первые элементы для массивов из шести ветвей. Тогда

R:= L:= C:=

Частота источника с учетом частотного коэффициента а=0,9: f=63 Гц, соответственно период Т=0,016 с., круговая частота =395,841 рад/с.

Амплитуды и начальные фазы источника соответственно:Em:=85 B, =1200 –ЭДС первой ветви; Jm:=5,5 A, := 300 – источника тока, включенного параллельно резистору пятой ветви.

**4.2. РАСЧЕТ МЕТОДОМ УЗЛОВЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ**

Будем рассматривать установившийся режим в линейной цепи при гармоническом воздействии. Тогда справедлив символический метод расчета, применительно к схеме, рис.6. Для чего подключаем узел с номером «0» к корпусу и считаем его опорным с потенциалом равным нулю. Тогда разность потенциалов между опорным узлом и каким – либо другим дает искомое напряжение.

Запишем выражения для элементов схемы: комплексная единица ; реактивные сопротивления элементов , , ,рад, или ; , или .

Комплексные сопротивления ветвей и соответствующая им матрица

, Z=,

Комплексные проводимости ветвей и соответствующая им матрица

, Y=.

Система уравнений для узловых потенциалов

.

Собственные и взаимные проводимости узлов:

Матрицы комплексных собственных и взаимных проводимостей:

**YU=.**

Определяем узловые токи с учетом выбранных направлений источников ЭДС и токов (рис.5 и 6)

Решение системы уравнений – узловые потенциалы:

**=YU1**

Комплексные амплитуды токов в ветвях цепи и соответственно вектор токов ветвей:

Проверяем баланс токов в узлах цепи (первый закон Кирхгофа)

Построим векторную диаграмму баланса токов в первом узле. Для этого сформируем вспомогательную матрицу и представим решение на комплексной плоскости (рис.7):



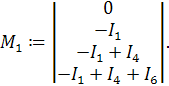


Рис.7. Векторная диаграмма для узла 1

Баланс токов и векторная диаграмма подтверждают правильность решения.

Построим графики мгновенных значений токов для первой и третьей ветвей в интервале t=0,003T..2T c:

* модули и начальные фазы

**arg**(=-2.726; **arg**(

- уравнения мгновенных значений токов



Рис.8. Временные зависимости токов в первой и третьей ветвях

Комплексные амплитуды напряжений на каждом элементе цепи:

;

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| -17.617-7.774j | 20.515-46.49j | 0 |
| -18.673-32.976j | 0 | -41.653+25586j |
| -8.551+16.015j | -39.622-21.155j | 20.229+10.801j |
| -0.24-9.579j | 15.167-0.38j | 0 |
| 32.382+15.05j | 0 | 0 |
| -11.553+2.48j | -9.819-45.73j | 3.916+18.241j |

Проверка баланса напряжений и ЭДС в контурах (второй закон Кирхгофа):

Так, для контура

Расчет напряжений выполнен правильно.

**4.3. РАСЧЕТ МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ГЕНЕРАТОРА**

В соответствии с заданием рассчитаем ток в пятой ветви. Крайние точки в пятой ветви обозначим буквами «а» и «b». Удаляем из электрической цепи пятую ветвь вместе с источником тока, подсоединенного параллельно ей.

Составляем расчетные схемы (рис. 10, 11).

Схема (рис. 10) содержит два узла (1, 3) и три ветви, подсоединенные к этим уздам: первая- ветвь 1, вторая - последовательно соединенные ветви 2 и 4, третья состоит из 3-й и 6-й ветвей.



Рис.10. Схема цепи после удаления Рис.11. Схема с эквивалентным

источника тока J и 5 – й ветви генератором и удаленной частью

цепи



Рис.12. Граф заданной электрической цепи

с выделенными независимыми контурами

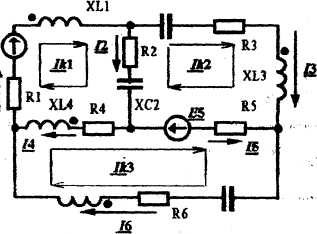


Рис.13.Схема электрической цепи, подготовленная для расчета методом контурных токов

Определим ЭДС эквивалентного генератора - Uabxx :

- напряжение между узлами 1,3 определяем по методу двух узлов

-токи в ветвях 2-4 и 3-6

- запишем уравнение обхода контура "a-b, 6, 4": **Uabxx +UZ6 – UZ4= 0;**

- отсюда напряжение Uabxx

Находим внутреннее сопротивление эквивалентного генератора Zвн:

- преобразуем треугольник из сопротивлений ветвей: 1,2,4 в звезду сопротивлений Za*,* Zb, Zc :

-подключаем комплексированную цепь к зажимам выделенной ветви:

Ток в пятой ветви находим, используя метод наложения (см. рис.11):

Значение тока в пятой ветви, ранее рассчитанное по методу узловых потенциалов   
Следовательно, решение правильное*.*

**4.4. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С ВЗАИМОИНДУКТИВНЫМИ СВЯЗЯМИ МЕТОДОМ КОНТУРНЫХ ТОКОВ**

Заданы коэффициенты индуктивной связи:

K13 – 0.3, k34 *-* 0.5, kJ6 - 0.4 .

На рис. 12 и рис.13 приведены граф и схема электрической цепи, причем на рис. 13 источник тока J5 преобразован в источник ЭДС : **Е5 := J5,** E5 = 52.395+30.25J, а точками отмечены «начала» обмоток катушек, охваченных взаимоиндуктивными связями.

Ранее рассчитаны индуктивные сопротивления  
XL1= 15.834; ХL3= 19.792; ХL4= 7.917; XL6= 15.834.

Находим сопротивления индуктивных связей

Уравнение по методу контурных токов в матричной форме **ZkIk:= Ek.** В уравнении: **Zk** -матрица комплексных коэффициентов, **Ek, Ik** -векторы контурных ЭДС в неизвестных контурных токов соответственно.



Записываем выражения для контурных и взаимных сопротивлений:

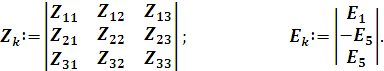
**Z11:=Z1+Z2+Z4; Z33:=Z4+Z5+Z6;**

**Z22:=Z2+Z3+Z5; Z13:=-Z4+jXM16;**

**Z12:=-Z2+jXM13+jXM14; Z23:=-Z5-jXM34;**

**Z21:=Z12; Z31:=Z13; Z32:=Z23.**

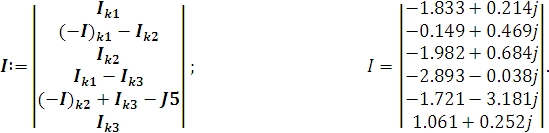
Матрица комплексных сопротивлений и вектор контурных ЭДС:



Решение системы уравнений - контурные токи



Токи ветвей выражаем через контурные токи. Поскольку в заданной схеме (рис.6) в 5 – й ветви параллельно резистору включен источник тока, пятая строка вектора содержит J5. Тогда



Рассчитаем комплексные амплитуды составляющих напряжений на каждом элементе:



**URn ULn UCn**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| -10.996+1.285j | -3.39-29.019j | 0 |
| -1.488+4.694j | 0 | 5.93+1.879j |
| -15.852+5.468j | -13.529-39.218j | 6.907+20.023j |
| -14.467-0.19j | 0.301-22.907j | 0 |
| -18.931-34.995j | 0 | 0 |
| 4.243+1.009j | -3.993+16.794j | 1.593-6.699j |

Составляющие напряжений на катушках, обусловленные взаимоиндуктивными связями:

**UXM13**;



Напряжения на индуктивносвязанных катушках:



Правильность решения проверяем по балансу напряжений и ЭДС в первом контуре

**UR1+UL1+UXM16+UXM13-UR2-UC2+UR4+UL4+UXM43-E1=0.**

Баланс напряжений и ЭДС в этом контуре обеспечиваются; следовательно, расчет выполнен правильно. Аналогичную проверку проводим для других контуров.

Построим векторную диаграмму токов, сходящихся в первом узле.

Для этого сформируем вспомогательные матрицы

**ID1:=[0 -I1 0 I4 0 I6]; ID**





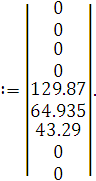
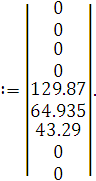
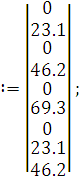
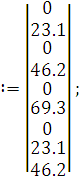
Рис.14. Векторная диаграмма токов, сходящихся в первом узле

**4.5. РАСЧЕТ МЕТОДОМ УЗЛОВЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ**

Граф расчетной схемы варианта 0-22, применительно к методу узловых потенциалов, представлен на рис.15. Потенциал узла «5» принят равным нулю. Находим индуктивное -XL и емкостное – ХС сопротивления ветвей:



XL XC



Полные комплексные сопротивления **ZB**, проводимости **YB** и амплитуды ЭДС ветвей

**ZB EK .**



**YB**; **E**

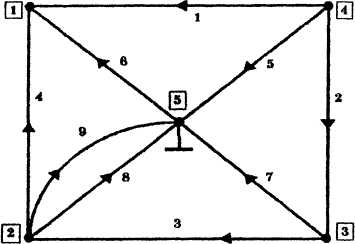
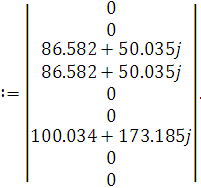
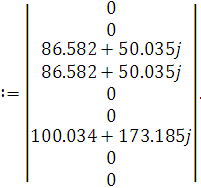
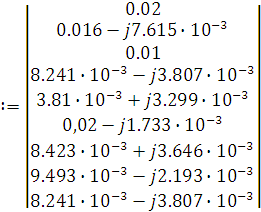
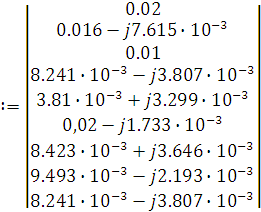
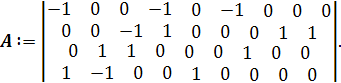
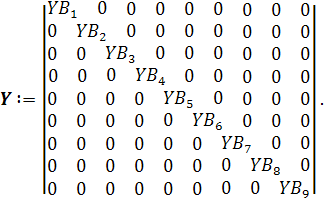


Рис.15. Граф заданной электрической цепи

Матричное уравнение для определения узловых потенциалов

**AYATU=-AYE.**

Составим матрицу А по графу электрической схемы, приведенному на рис.15. Размер матрицы определяется конфигурацией графа. Число строк m равно количеству независимых узлов графа (m=4), номер строки определяется номером узла. Число столбцов n матрицы соответствует числу ветвей в схеме (n=9). Номер столбца определяется номером ветви, поэтому номер элемента в строке равен номеру ветви графа. Отметим, что каждая строка матрицы А – это коэффициенты уравнения, записанного по первому закону Кирхгофа для соответствующего узла. Из рис.15. видно, что ветви 1,4,6 соединяются в первом узле и токи всех ветвей направлены к узлу. В соответствии с этим первая строка матрицы содержит элементы «-1» в первом, четвертом, и шестом столбцах, а все другие элементы «0», т.к. ветви с номерами 2,3,5,7,8,9 не соединяются с первым узлом. По аналогичному алгоритму составляются все другие строки матрицы.



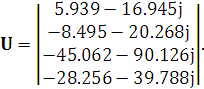
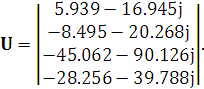
Диагональная матрица проводимостей Y имеет вид

Преобразование столбовой матрицы проводимостей ветвей YB в диагональную матрицу Y производится с помощью встроенной функции:**Y.**

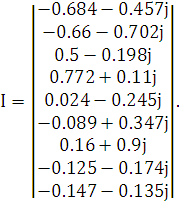
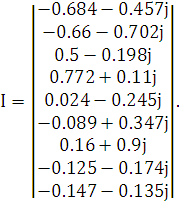


Запишем левую и правую части матричного уравнения узловых потенциалов:

**.**



Токи ветвей:



Проверим результаты расчета, записав уравнение для третьего узла в соответствии с первым законом Кирхгофа:

I2+I3+I7=0.

Построим векторную диаграмму токов для третьего узла:



Как видим, проверка подтверждает правильность расчета.

Построим график зависимости тока в третьей ветви от времени



t =0,0.003T..2T; j3(t)

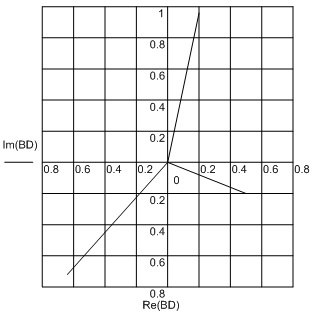
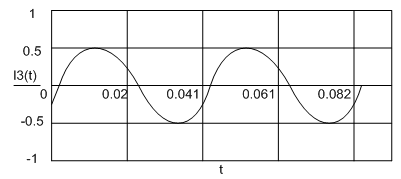


Рис.16. Векторная диаграмма токов для третьего узла Рис.17.График зависимости тока в третьей ветви от времени