Методические указания к контрольной работе № 1 по I части курса «Теоретические основы электротехники» для студентов 2 курса заочной формы обучения

.

*Содержание*

1. Общие указания 3

2. Литература 4

3. Контрольные задания и порядок выполнения 4

4. Задача 1.1 4

5. Методические указания к решению задачи 1.1 9

6. Задача 1.2 22

7. Методические указания к решению задачи 1.2 25

8. Задача 1.3 30

9. Методические указания к решению задачи 1.3 33

***1. Общие указания***

«Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) – первый специальный курс, являющийся основой важнейших научных дисциплин в ВУЗе связи и базой, на которой строится подготовка бакалавров по электроэнергетике. Данный курс базируется на материале, изученном в курсах «Математика», «Физика», «Информатика».

* + 1. ***Литература***
  1. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И Основы теории цепей.

– М.: Радио и связь, 2000, с. 592.

* 1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электри-ческие цепи. – М.: Гардарики, 1999, с. 638.
  2. Бакалов В.П., Крук Б.И., Журавлева О.Б. Теория электрических цепей. – Новосибирск: СибГАТИ, 1998, с. 197.
  3. Белецкий А.Ф. Теория линейных электрических цепей. – М.: Ра-дио и связь, 1986, с. 544.
  4. Методические указания к контрольной работе № 1

по I части курса «Основы теории цепей» для студентов заочного отде-ления. Составители: к.ф.-м.н., доц. Панин Д.Н., к.т.н., доц. Михайлов В.И., ПГУТИ, кафедра ТОРС, Самара, 2009.

6. Шебес М.Р., Каблукова М.В. Задачник по теории линейных электрических цепей. – М.: Высшая школа, 1990, с. 544.

***3. Контрольные задания и порядок ыполнения Выбор варианта****.*

Контрольные задания составлены в ста вариантах из задач трех раз-ных типов.

При подготовке к экзаменационной сессии студенты изучают выдан-ные им методические указания, разбирают решенные примеры и само-стоятельно решают приведенные типовые задачи.

Номер варианта определяется двумя последними цифрами зачетки

***4. Задача 1.1***

На рис.1 (а, б, в) показаны схемы цепей постоянного тока. Номер схемы и параметры элементов схемы определяются в соответствии с вариантом по таблицам 1 и 2 соответственно.

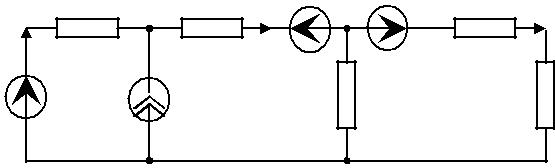
4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Таблица 1 | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | Варианты | | | | | |  |  |  |  |  |  |  | Номер схемы | | | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | или задания | | | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 00 |  | 10 | |  | 20 | 30 |  | 40 | |  | 50 | 60 | | 70 | |  | 80 |  | 90 |  |  | 1 | |  |  |  |
|  | 01 |  | 11 | |  | 21 | 31 |  | 41 | |  | 51 | 61 | | 71 | |  | 81 |  | 91 |  |  | 2 | |  |  |  |
|  | 02 |  | 12 | |  | 22 | 32 |  | 42 | |  | 52 | 62 | | 72 | |  | 82 |  | 92 |  |  | 3 | |  |  |  |
|  | 03 |  | 13 | |  | 23 | 33 |  | 43 | |  | 53 | 63 | | 73 | |  | 83 |  | 93 |  |  | 4 | |  |  |  |
|  | 04 |  | 14 | |  | 24 | 34 |  | 44 | |  | 54 | 64 | | 74 | |  | 84 |  | 94 |  |  | 5 | |  |  |  |
|  | 05 |  | 15 | |  | 25 | 35 |  | 45 | |  | 55 | 65 | | 75 | |  | 85 |  | 95 |  |  | 6 | |  |  |  |
|  | 06 |  | 16 | |  | 26 | 36 |  | 46 | |  | 56 | 66 | | 76 | |  | 86 |  | 96 |  |  | 7 | |  |  |  |
|  | 07 |  | 17 | |  | 27 | 37 |  | 47 | |  | 57 | 67 | | 77 | |  | 87 |  | 97 |  |  | 8 | |  |  |  |
|  | 08 |  | 18 | |  | 28 | 38 |  | 48 | |  | 58 | 68 | | 78 | |  | 88 |  | 98 |  |  | 9 | |  |  |  |
|  | 09 |  | 19 | |  | 29 | 39 |  | 49 | |  | 59 | 69 | | 79 | |  | 89 |  | 99 |  | 10 | | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Таблица 2 | | |  |
| Варианты | | | |  |  | Е1 | Е2 | |  |  |  | Е3 |  | J4 |  |  | R1 | |  | R2 | | R3 |  | R4 |  | R |  |
|  |  | В | В | |  |  |  | В |  | А |  | Ом | | |  | Ом | | Ом |  | Ом |  | Ом |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| от 00 до | | |  |  | 15+n | | 18+n | | |  | 10+n | |  | 1,5 |  |  | 8 | |  | 12 |  | 10 |  | 5 |  | 3 |  |
| 09 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| от 10 до | | |  |  | 20+n | | 10+n | | |  | 30+n | |  | 1,0 |  | 20+n | | |  | 92+n | | 12+n |  | 20+n |  | 5 |  |
| 19 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| от 20 до | | |  |  | 12+n | | 18+n | | |  | 20+n | |  | 2,5 |  |  | 40 | |  | 10 |  | 19 |  | 6 |  | 10 |  |
| 29 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| от 30 до | | |  |  | 10+n | | 12+n | | |  | 40+n | |  | 3,0 |  |  | 10 | |  | 84 |  | 26 |  | 19 |  | 8 |  |
| 39 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| от 40 до | | |  |  | 20+n | | 18+n | | |  | 60 | |  | 4,0 |  | 70+n | | |  | 19 |  | 17 |  | 30 |  | 7 |  |
| 49 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| от 50 до | | |  |  | 16 | | 20+n | | |  | 80+n | |  | 3,5 |  |  | 50 | |  | 40+n | | 18 |  | 25+n |  | 10 |  |
| 59 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| от 60 до | | |  |  | 10 | | 15 | |  |  | 30+n | |  | 7,0 |  | 40+n | | |  | 30+n | | 50+n |  | 30+n |  | 5 |  |
| 69 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| от 70 до | | |  |  | 20+n | | 12 | |  |  | 40+n | |  | 1,5 |  | 30+n | | |  | 90+n | | 28 |  | 16 |  | 6 |  |
| 79 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| от 80 до | | |  |  | 16 | | 18 | |  |  | 20+n | |  | 1,0 |  | 30+n | | |  | 70+n | | 15 |  | 26+n |  | 4 |  |
| 89 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| от 90 до | | |  |  | 12 | | 20 | |  |  | 30 | |  | 4,0 |  |  | 50 | |  | 22 |  | 10 |  | 25 |  | 8 |  |
| 99 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

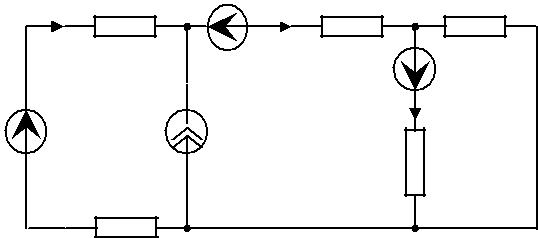
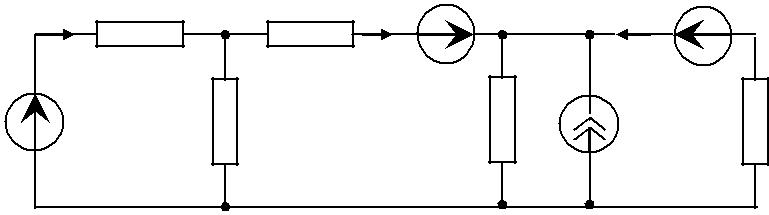
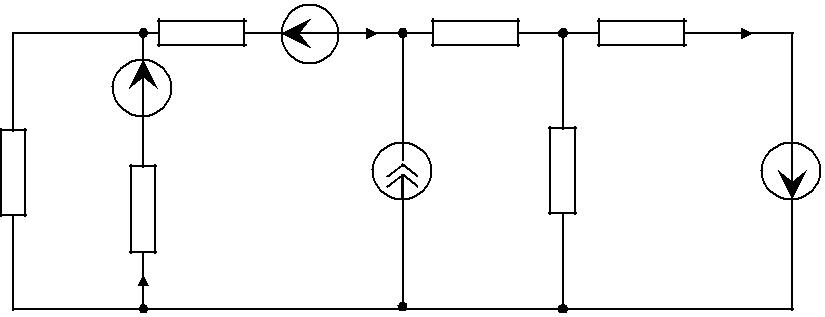
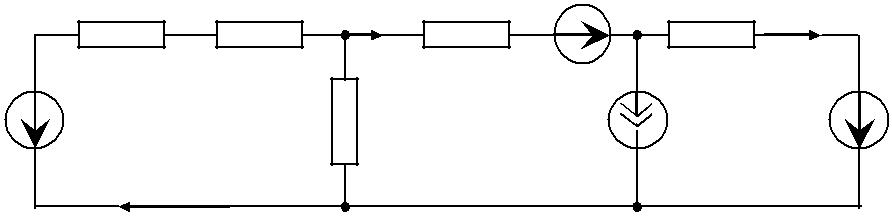
Здесь n – последняя цифра зачетки.

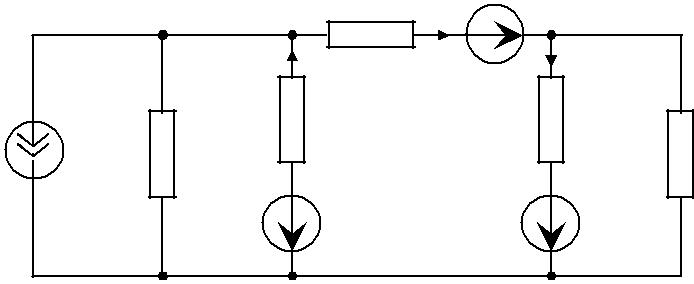
.

5

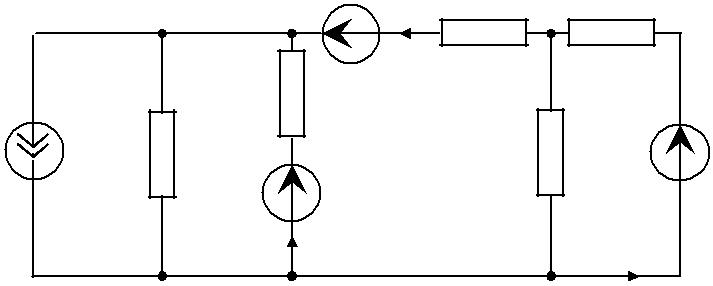


|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| I1 | R | | R | | | I2 | | E | | E | | R | I | |
|  |  | | |  | | J4 |  | |  | | R | |  | | | R | |  |  |
|  | E | | |  | |  | |  | |  | |  | | |  |  |
|  |  | |  |  | |  | |  | |  | | |  | |  |  |
|  |  | | |  | |  |  | | 1 | |  | |  | | |  | |  |  |
|  | I1 | | | R | |  | E | | I3 | | R | | R | | |  | |  |  |
|  |  | | |  | |  |  | |  | |  | | |  | |  |  |
|  |  | | |  | |  |  | |  | | E | | I2 | | |  | |  |  |
|  |  | | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  |  |
|  | E | | |  | |  | J4 | |  | |  | | R | | |  | |  |  |
|  |  | | | R | |  |  | |  | |  | |  | | |  | |  |  |
|  |  | | |  | |  |  | | 2 | |  | |  | | |  | |  |  |
|  |  | | |  | |  | Рис. 1 а | | | | | |  | | |  | |  |  |
|  | R2 | | |  | | R4 | | |  | | I1 | | R1 E1 | | | R3 | | I3 |  |
| E2 |  | | |  | |  |  | |  | | R | |  | | | J4 | | E3 |  |
| I2 | | |  | |  |  | |  | |  | |  | | |  | |  |
|  |  | |  |  | |  | |  | |  | | |  | |  |  |
|  |  | | |  | |  |  | |  | | 3 | |  | | |  | |  |  |
|  |  | | | R2 | | |  | | E2 | | I2 | | R | | | R3 | |  |  |
|  | E1 | | |  | |  | |  | | |  |  |
|  |  | |  |  | |  | |  | | |  | |  |  |
| R4 | | | | R1 | |  |  | |  | |  | | J4 | | | R4 | |  |  |
|  |  | | |  |  | |  | |  | | E3 |  |
|  |  | | |  |  | |  | |  | |  | |  |
|  |  | | |  | |  |  | |  | |  | |  | | |  | |  |
|  |  | | | I1 | |  |  | |  | |  | |  | | |  | |  |  |
|  |  | | |  | |  |  | |  | | 4 | |  | | |  | |  |  |
|  | I3 R3 | | |  | |  |  | | R2 | | I2 | | E2 | | | I1 | |  |  |
|  |  | | | R4 | |  |  | |  | |  | | E1 | | |  |
|  |  | | |  |  | |  | |  | |  | | |  | |  |  |
|  | E3 | | |  | |  |  | |  | |  | | R | | | J4 | | R1 |  |
|  |  | | |  | |  |  | |  | | 6 | |  | | |  | |  |  |
|  |  | | |  | |  |  | |  | | 5 | |  | | |  | |  |  |

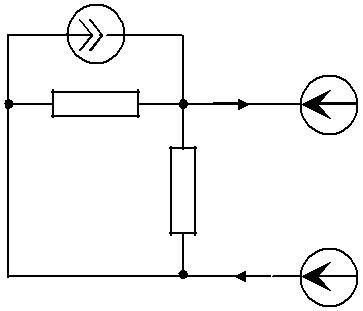




|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| I1 | I3 | I2 | |  | |
|  | R3 | E3 | |  | |
|  |  |  | |
| R1 | | | | R2 | |
| R4 | | | | R | |
| J4 | | | |  | |
| E1 | | | | E2 | |
| 6 | | | |  | |
| Рис. 1 б | | | |  | |



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | I2R2 | R3 |  |
|  |  | E2 |  |  |
|  |  | R1 |  |  |
|  | R | R4 | E3 |  |
| J4 |  |  |  |
|  | E1 |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  | I1 | I3 |  |
|  |  | 7 |  |  |

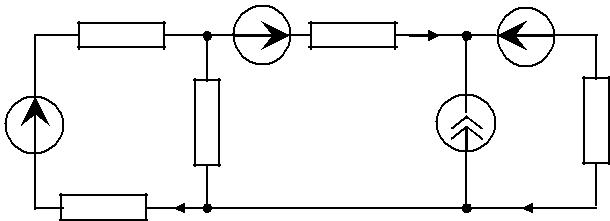


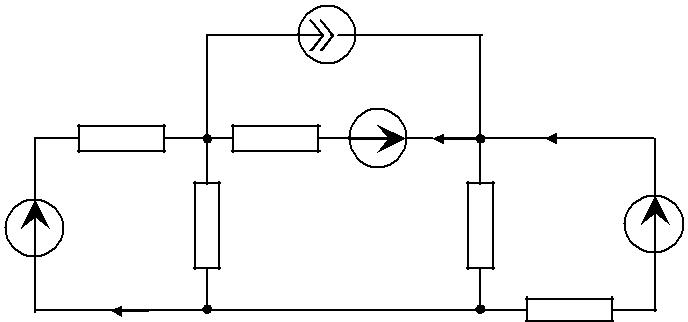
|  |  |
| --- | --- |
|  | J4 |
| R3 | I2 |
|  | R |
|  | I1 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| E2 | | | R2 | |  |  |  |  | R3E3 | | | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | R4 | |  |  | R3 | |  |  |  |
| E1 | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| R1 | | |  |  |  |  | I3 | | | |  |  |
|  |  |  |  | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 8 |  |  |  |
| R2 | E3 | R3 | I3 | E1 |  |
|  |  |
|  |  |  |  |
| E2 | R |  |  | R1 |  |
|  |  | J4 |  |  |
| R4I2 |  |  | I1 |  |
|  |  |  |  |
|  |  | 9 |  |  |  |
|  |  |  | 7 |  |  |





|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | J4 |  |  |  |
|  | R2 | R1 | I1 | I3 |  |
|  |  | E1 |  |  |
| E2 |  | R4 | R | E3 |  |
|  | I2 | R3 |  |
|  |  |  |  |

10

Рис. 1 в

Выполните следующее:

1. Перерисуйте схему своего варианта. Составьте таблицу числен-ных значений вашего варианта.
2. Выберите и укажите на схеме направление токов во всех ветвях схемы. Пронумеруйте все узлы схемы.

3. Подсчитайте числа NB ветвей и NУ узлов схемы и число

* МКТ независимых контурных токов.
  1. Выберите и покажите полную систему независимых контурных токов для расчета схемы методом контурных токов. Составьте уравне-ния расчета схемы этим методом в алгебраической форме.
  2. Приведите в алгебраической форме выражения токов всех вет-вей через контурные токи.
  3. Составьте уравнения для расчета схемы методом узловых на-пряжений. Уравнения составьте и в алгебраической форме, и в число-вых значениях вашего варианта. Выразите токи ветвей через потенциа-лы узлов.
  4. Рассчитайте токи всех ветвей методом узловых напряжений.
  5. Методом эквивалентного источника рассчитайте ток ветви с со-противлением R . Сравните с результатом, полученным в пункте 7.
  6. Проверьте баланс мощности.
  7. ***Методические указания к решению задачи 1.1***

1. Перерисуйте схему рис. 1 (а, б, в) своего варианта согласно за-данному номеру (таблица 1) со всеми обозначениями указанного ри-сунка и составьте таблицу численных значений вашего варианта по

8

данным таблицы 2.

2. Первой операцией при решении задачи любым методом являет-ся определение топологических характеристик схемы: NУ – число узлов, NB – число ветвей. Величина N МКТ  NB - NУ  - NJ опреде-ляет число независимых уравнений, составляемых методом контурных токов. NJ – число источников тока. Величина N МУН  NУ - - NE

определяет число независимых уравнений методом узловых напряже-ний. NE – число ветвей, содержащие только источники напряжения

(ЭДС). Методы контурных токов и узловых напряжений – универсаль-ные методы расчета сложных цепей, при использовании которых мож-но рассчитать токи во всех ветвях схемы. В частных случаях, когда требуется рассчитать ток в отдельной ветви, используется метод экви-валентного источника напряжения или тока. *Вторая операция* состоит в указании на схеме токов в ветвях. Направления токов в ветвях выби-раются произвольно и перед расчетом принимаются за положительные направления. Истинное направление тока в ветви определяется в ре-зультате расчета по алгебраическому знаку рассчитанного тока. Знак плюс подтверждает, что фактическое направление тока будет совпа-дать с выбранным. Знак минус означает, что фактическое направление тока будет противоположным.

3. При решении задачи методом контурных токов следует придер-живаться следующей схемы:

* указать направления токов в ветвях;
* определить NМКТ – число независимых уравнений, составляе-мых по методу контурных токов, выбрать и указать на схеме контурные токи;
* записать в алгебраической форме токи в ветвях через контурные токи;
* составить в алгебраической форме систему уравнений контур-

ных токов.

4. При решении задачи методом узловых напряжений целесооб-разна следующая схема:

* указать направления токов в ветвях;
* определить NМУН – число независимых уравнений, составляе-мых методом узловых напряжений;
* составить систему алгебраических уравнений методом узловых напряжений, решить систему;
* записать токи в ветвях через потенциалы узлов.

9

5. Расчет методом эквивалентного источника должен сопровож-даться вычерчиванием всех необходимых схем:

а) схемы, из которой исключена ветвь с искомым током (на ней должны быть обозначены входные узлы, к которым была подключена указанная ветвь), т.е. развернутая схема источника;

б) схемы простейшего эквивалентного источника EИС , R ИС , за-

меняющего развернутую схему (с идентичным обозначением входных узлов);

в) развернутой схемы источника, полученной после исключения из нее всех независимых источников E, J ;

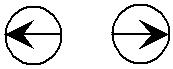
г) если входное сопротивление R ИС определяется путем эквива-

лентных преобразований последней схемы, то – всех промежуточных эквивалентных схем.

***5.1 Общие вопросы расчета электрических цепей***

Расчет электрической цепи заключается в первую очередь в опре-делении токов и напряжений в отдельных элементах цепи. Для этого рассматривают схему цепи, где условными обозначениями показаны отдельные ее элементы.

Рассмотрим для примера расчет резистивной цепи с источниками постоянного тока и напряжения, показанной на рис. 2 с исходными данными приведенными в таблице 3.



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | I1 R1 | |  |  |  |  | R2 |  | I2 E2 | | | |  |  |  | E3 | | I3 |  | R3 | | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | R |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | R4 | | |  |  |  |  |  |  |  |
|  | E1 | |  |  | J4 | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | Рис. 2 | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Таблица 3 | | | | | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | Е1 | Е2 | | Е3 | | J4 |  | R1 | | R2 | | |  | R3 | |  | R4 |  | R |  |  |  |  |  |
|  |  | В |  | В | В | | A |  | Ом | | Ом | | |  | Ом | |  | Ом |  | Ом |  |  |  |  |  |
|  |  | 16 | 18 | | 20 |  | 1 | 30 | |  | 70 | |  | 15 | | |  | 26 | 4 | |  |  |  |  |  |



10

Методы контурных токов и узловых напряжений – универсальные методы расчета сложных цепей, при использовании которых можно рассчитать токи во всех ветвях схемы. В частных случаях, когда требу-ется рассчитать ток в отдельной ветви, используется метод эквива-лентного источника напряжения или тока. При решении задачи любым методом необходимо определить топологические характеристики схе-мы:

NУ – число узлов, для рассматриваемой схемы рис.2 оно равно 3. Узел – это место соединения трёх и более ветвей;

NB – число ветвей, для нашей схемы оно равно 5. Ветвь – это уча-сток схемы, через который протекает один и тот же ток;

* + - J – число источников тока, в нашей схеме оно равно 1;
    - E – число идеальных источников напряжения, равно 0.
      1. ***Метод контурных токов***
  1. Произведём расчет данной цепи с помощью метода контурных

токов.

Указываем на схеме токи в ветвях (рис.3). Направления токов в ветвях выбираются произвольно и перед расчетом принимаются за положи-тельные направления. Если в схеме есть ветви с источником тока, то нужно правильно выбрать независимые контуры, а именно выбрать контуры так, чтобы источник тока входил единственный раз в не ос-новной контур. Контур – это замкнутый путь по ветвям схемы. Незави-симый контур должен иметь хотя бы одну новую ветвь, по отношению

* уже выбранным. В силу свойств источника тока в контур может вхо-дить только единственный источник тока. Если источник тока включи-ли в контур, то ток такого контура равен току источника тока и его не нужно вычислять. Такой контур называют не основным (дополнитель-ным). В данном случае это третий контур, где ток третьего контура

I  J .

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | R1 | |  |  |  |  | E2 | |  |  | E3 | | I3 | R3 | | |  |  |  |
|  |  |  |  | R2I2 | | | |  |  |  |  |  |  |  |
| I1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | I11 | | |  |  |  |  |  | I22 | |  |  | R |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| E1 |  | I33 | |  | J4 | | | | |  |  | R4 | |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

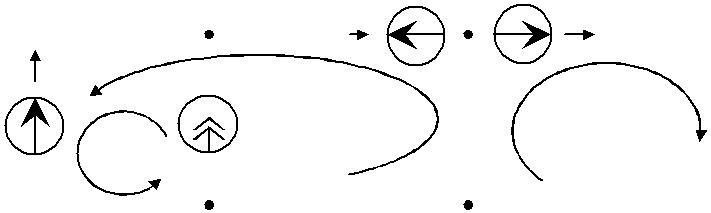


Рис. 3 11

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 2. Определяем | число | независимых | уравнений |
| N МКТ  NB - NУ  - NJ , | NМКТ  , выбираем и указываем на схеме | | |

рисунка 3 два контурных тока.

Контурный ток – это условный ток, который протекает через все ветви, составляющие контур. Число неизвестных контурных токов должно быть равно числу независимых уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа. Направление контурных токов I и I

выбираем так, как показано на схеме.

3. Составляем в алгебраической форме систему уравнений контур-ных токов. В общем виде система уравнений имеет вид

R11 I11  R12 I22  K  R1k Ikk  K  ∑Jn R n  E11;

1

R 21 I11  R 22 I22  K  R 2k Ikk  K  ∑Jn R n  E22 ;

2

LLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLL

R k1 I11  R k2 I22  K  R kk Ikk  K  ∑Jn R n  Ekk ; n

где Rkk – собственное сопротивление контура k; Rkm – общее сопротив-ление контуров k и m, причем, если направление контурных токов в общей ветви для контуров k и m совпадают, то Rkm >0, в противном случае Rkm<0; Ekk – алгебраическая сумма ЭДС, включенных в ветви, образующие контур k; Rn – общее сопротивление ветви контура n с контуром, содержащим источник тока.

Для данной схемы система уравнений имеет вид

I11 ⋅ R11  I22 ⋅ R12  ∑J ⋅ R  E11 ,

1

I11 ⋅ R21  I22 ⋅ R22  ∑J ⋅ R  E22 ,

2

где I и I – неизвестные контурные токи; R  R R  R   Ом, R  R  R  R  Ом – собственное сопротивление соответственно I и II контуров; R R   R  Ом – общее сопротивление I и II контуров, если направление контурных токов в общей ветви для кон-туров I и II совпадают, то R R , в противном случае

R  R ; EE −E B – алгебраическая сумма ЭДС, включен-ных в ветви, образующих I контур, E E  B – алгебраическая

12

сумма ЭДС, включенных в ветви, образующих II контур, со знаком "+" берут те ЭДС, направление которых совпадает с выбранным положи-тельным направлением контурного тока, а со знаком "–" ЭДС с проти-

воположными направлениями; ∑J⋅R  J ⋅R  B – алгебраическая



сумма произведения тока источника тока на общее сопротивление вет-ви контура I с контуром, содержащим источник тока, если направление

контурных токов I и I совпадают, то R, в противном случае

R, ∑J⋅R  , т.к. не существует общего сопротивления ветви кон-



тура II с контуром, содержащим источник тока. Подставляя численные значения, получаем систему уравнений для контурных токов в сле-дующем виде:

I ⋅I ⋅ −,

I ⋅ I ⋅.

4. Данную систему решаем методом Крамера. Составляем главный

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| определитель (второго порядка). | | | | | | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | |  |  | | | | |  |  |  |  . | | | | |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |
| Затем составляем определитель | | | | | | | | | | I. | | | | | | |  |  |
| I |  |  | | |  |  |  | − | |  | | |  |  − . | | | |  |
|  |  |  |  |
|  | |  |  |  |  |  |  | |  |  | | |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Вычисляем ток I по следующей формуле: | | | | | | | | | | | | | | | | |  |  |
| I |  |  |  |  |  |  |  | I |  |  − , А. | | | | | | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Аналогично определяем контурный ток I. | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |
| I  | | | | | | |  | − | | | | | | |  |  | , |  |
|  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | | | |  |  |  |  |

I  I , А.

5. Записываем в алгебраической форме токи в ветвях через кон-турные токи. Токи в ветвях находятся как алгебраическая сумма кон-турных токов, протекающих через данную ветвь.

I  −J −I  −, A.

I  −I , A.

13

I  I , A.

I  I I , A.

Ниже приведена программа для расчётов токов ветвей методом МКТ в системе Mathcad.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| E1  16 | | E2  18 | | | | | E3  20 | | | |  | J4  1 | | |  |  |  |  |  |  |  |
| R1  30 | | R2  70 | | | | | R3  15 | | | |  | R4  26 | | | | | R  4 | |  |  |  |
| R11  R2  R1  R4 | | | | | | | | R11  126 | | | | |  |  | R22  R  R4  R3 R22  45 | | | | | |  |
| R12  R4 | | |  | R21  R12 | | | | |  | E11  E2 − E1 − J4⋅ R1 | | | | | | | | | | E22 E3 |  |
| R11 R12 | | |  |  |  | 126 26 | | |  | | E11 | |  |  | | −28 | |  |  |  |  |
| R21 R22 | | |  |  | 26 |  | 45 |  | | E22 | |  |  | 20 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Ia |  | R11 | | | R12 | |  | − 1 |  | E11 | | Ia | |  |  |  | −0.356 | |  |  |  |
| Ib | R21 | | | R22 | |  | ⋅ | | E22 | | Ib | |  |  | 0.65 | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| I1  −Ia − J4 | | | |  | I2  −Ia | | | |  | I3  Ib | | |  |  |  | I4  −Ia − Ib | | | | I5  J4 |  |

***5.3 Метод узловых напряжений (потенциалов)***

Произведём расчет данной цепи с помощью метода узловых напря-жений по схеме рисунка 4.

1. При расчёте цепи по методу узловых напряжений определяем число узлов схемы. Один из этих узлов принимаем за базисный. Ос-тальные узлы называются независимыми. Базисный узел – это узел от которого ведется отсчет. Его выбирают в первую очередь там, где есть ветвь, содержащая только одиночный идеальный источник ЭДС, и сходится много ветвей или это тот узел, который удобнее для нагляд-ности (в нашей схеме это узел 3). Базисный узел часто заземляют, при этом его потенциал равен нулю. Из свойств идеального источника на-пряжения, следует отметить, что если в схеме имеются ветви, состоя-щие из одиночных идеальных источников напряжения, то их сопро-тивление равно нулю, а проводимость – бесконечности. В нашем слу-чае таких ветвей нет NE  . Для ветвей с источниками тока все наобо-

рот.

14

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | R1 | 1 | | | | R2 | I2 E2 | | |  |  | E3 | | I3 R3 | | | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  | 2 | | |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | V1 |  | V2 | |  |  |  | R4 |  |  |  |  |  | R |  |
| E1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | J4 | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

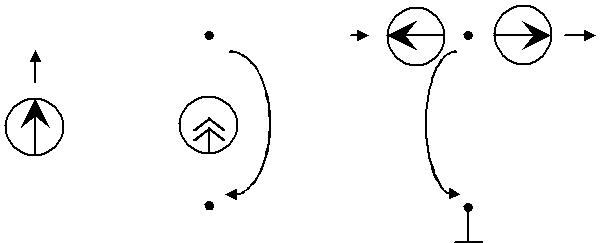
3

Рис. 4

1. Определяем число независимых уравнений, составляемых мето-дом узловых напряжений NМУН NУ −−NЕ .
2. Составляем систему алгебраических уравнений методом узло-вых напряжений, согласно первому закону Кирхгофа. Данная система уравнений представляет собой узловую систему уравнений, записан-ную в канонической форме. Число уравнений должно быть равно чис-лу неизвестных узловых напряжений. В общем виде система уравне-ний имеет вид

V1 G11 − V2 G12 − K − Vs G1s − K − Vn G1n  ∑E G  ∑J;

1 1

− V1 G21  V2 G22 − K − Vs G2s − K − Vn G2n  ∑E G  ∑J;

2 2

…………...

− V1 Gn1 − V2 Gn2 − K − Vs Gns − K  Vn Gnn  ∑E G  ∑J; n n

где Gss – сумма проводимостей ветвей, присоединенных к узлу s; Gsq

– сумма проводимостей ветвей, непосредственно соединяющих узел s с узлом q. ∑E⋅ G – алгебраическая сумма произведений ЭДС ветвей,

s

примыкающих к узлу s, на их проводимости; при этом со знаком "+" берутся те ЭДС, которые действуют в направлении узла, и со знаком "–

" – в направлении от узла; ∑J – алгебраическая сумма токов источ-

s

ников тока, присоединенных к узлу s; при этом со знаком "+" берутся те токи, которые направлены к узлу s, а со знаком "–" – в направлении от узла s.

Для данной схемы система уравнений имеет следующий вид

15

V1 ⋅ G11 − V2 ⋅ G12  IУ 1 ,

− V1 ⋅ G 21  V2 ⋅ G 22  IУ 2,

где G,G  – это собственные проводимости соответственно узлов 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| и 2. |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | G  | | |  |  | |  | |  | | | , См. | |  |
|  |  |  |  |  | R  | |  |
|  |  |  |  | R  | | | | |  |  |  |  |
| G  |  |  |  | |  |  | |  |  | |  |  | , См. |  |
| R  |  | R  | | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | R   R | | |  |

G  G  R  , См – собственные проводимости между узла-ми 1 и 2.

IУ  ,IУ – собственный или задающий ток, соответственно, независи-

мых узлов 1 и 2. В общем виде токи IУ  ,IУ можно представить в сле-

дующем виде:

IУ  ∑E⋅G∑J ,

* 

IУ   ∑E⋅G∑J ,

* 

где ∑E⋅G – алгебраическая сумма произведений ЭДС ветвей, примы-



кающих к узлу 1, на их проводимости, ∑E⋅G – алгебраическая сумма



произведений ЭДС ветвей, примыкающих к узлу 2**,** на их проводимо-сти; при этом со знаком "+" берутся те ЭДС, которые действуют в на-

правлении узла, и со знаком "–" – в направлении от узла; ∑J – алгеб-



раическая сумма токов источников тока, присоединенных к узлу 1,

∑J – алгебраическая сумма токов источников тока, присоединенных к



узлу 2; при этом со знаком "+" берутся те токи, которые направлены к узлу, а со знаком "–" – в направлении от узла. Для нашего случая токи IУ  ,IУ  имеют следующий вид:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| IУ  | E |  | E | J | , A. |  |
| R | R  |  |
|  |  |  |  |  |

16

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| IУ  − | E | − | E |  −, A. |  |
|  |  |  |
| R  | R R |  |
|  |  |  |  |

Узловое напряжение – это напряжение между независимым и базис-ным узлами и направлено оно к базисному узлу. V,V – узловые на-

пряжения узлов 1 и 2 соответственно. Знак "+" перед узловым напря-жением берётся, если это собственное узловое напряжение, в против-ном случае берётся знак "–".

1. Данную систему решаем методом Крамера. Составляем определитель второго порядка, в первую и вторую строки которого ставим значения проводимостей стоящих при напряжениях, соответственно в первом и во втором уравнениях нашей системы.

* , −, , . −,,

Затем составляем определитель V , для этого в определителе в

первом столбе значения проводимостей заменяем значениями токов, стоящих в правой части нашей системе.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| V  | , | −, | , . |  |
|  | −, | , |  |  |
|  |  |  |

После чего вычисляем напряжение V по следующей формуле:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| V  | V | , В |  |
|  |  |
|  |  |  |  |

Аналогично находим напряжение V.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V  | | , | | , |  −, . |  |
|  |  | −, −, | | |  |  |
|  |  |  |  |
|  | V  | | V | −, В. | |  |
|  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |

5. Находим токи ветвей через узловые напряжения.

I  V −V E  −, A. R

I  V −V −E , A. R 

I  V −V E , A. R  R

17

I  V −V , A. R 

Ниже приведена программа для расчётов токов ветвей методом МУН в системе Mathcad.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | E1  16 | | | | | | |  |  | E2  18 | | | | | | E3  20 | | | | | | | | | J4  1 | | | | | |  |
|  |  |  | R1  30 | | | | | |  | R2  70 | | | | | | | R3  15 | | | | | | |  | R4  26 | | | | | R  4 | | | | |  |
| G11 | 1 |  | 1 |  |  |  |  | G22 | | | |  | 1 | |  | |  |  |  | 1 |  |  |  |  |  |  | 1 |  | G12 | | | −1 |  | G21 G12 |  |
|  |  |  |  |  |  |  | R3  R | | | | | | |  |  |  |  |  |
|  | R2 R1 | | | |  |  |  |  |  |  |  |  | R2 | | | |  |  | R4 | | |  |  |  | R2 | | |  |
|  |  | I11 | | | | | E1 | | |  | E2 | | |  J4 | | |  |  |  | I22 −E2 − | | | | | | | | | | E3 | | | |  |  |
|  |  |  | | |  | | |  |  |  | R3  R | | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  | R1 | | | | R2 | | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | R2 | | |  |
|  |  |  |  | | V1 | | |  |  |  | G11 G12 | | | | | | | |  | − 1 |  | | | I11 | | |  | | V3 0 | | | | | |  |
|  |  |  |  | |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ⋅ | | |  |  |  |  | |  |
|  |  |  |  | | V2 | | |  |  |  | G21 G22 | | | | | | | |  |  |  | | | I22 | | |  | |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | I1  | | | | V3 − V1  E1 | | | | | | | | |  |  | I2  | | | | | V1 − V2 − E2 | | | | | |  | | | |  |
|  |  |  |  |  |  | | | | | | |  | |  |  | | | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | R1 | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | R2 |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | I3  | | | V2 − V3  E3 | | | | | | | | | |  |  |  | I4  | | | V2 − V3 | | | | | | |  | I5  J4 | | | | |  |
|  |  |  |  | | | | | | | | | |  |  |  | | | | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | R3  R | | | | | | | |  |  |  |  |  |  |  | R4 | | | | |  |  |  |  |  |  |  |

***5.4 Метод эквивалентного источника***

Решим задачу рис.2 методом эквивалентного источника относи-тельно тока I  . В данном методе источник обычно рассматривается как активный двухполюсник с задающими напряжениями EИС или током IИС и внутренними сопротивлением RИС или проводимостью GИС, а приёмник как пассивный двухполюсник с внутренним сопро-тивлением нагрузки R Н или проводимостью GН . Активным называ-

ют такой двухполюсник, у которого есть напряжение на разомкнутых зажимах (полюсах) или ток, протекающий через закороченные полю-сы. Задающее напряжение генератора определяется как напряжение холостого хода, на разомкнутых зажимах активного двухполюсника EИС UXX, а задающий ток – как ток короткого замыкания IИС I КЗ . Внутреннее сопротивление активного двухполюсника (источника)

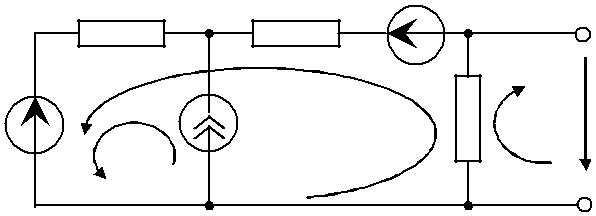
RИС или его проводимость GИС находятся как эквивалентные входные

18

сопротивление или проводимость относительно разомкнутых зажимов пассивного двухполюсника, которые получаются после исключения из схемы всех источников напряжения и тока. При этом источники на-пряжения заменяются перемычкой, а источники тока – разрывом.

1. Разрываем цепь в указанном нами участке. Находим UXX по второму закону Кирхгофа, для этого рассматриваем контур I в схеме

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| рис. 5. |  |  |
| R1 | R2 | E2 |



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Ix | Uxx |  |
|  |  |  |
|  | J4 | I |  |
| E1 | J4 | R4 |  |
|  |  |  |
|  |  | Рис. 5 |  |

UXX IX ⋅R  ,

UXX  −IX ⋅R .

2. Находим IX по методу контурных токов, для этого рассматрива-

ем контур с током IX с учетом влияния источника тока J .

IX ⋅RR R  J ⋅R  E −E . Откуда определяем

IX  E −E −J ⋅R  −, A .

RR R 

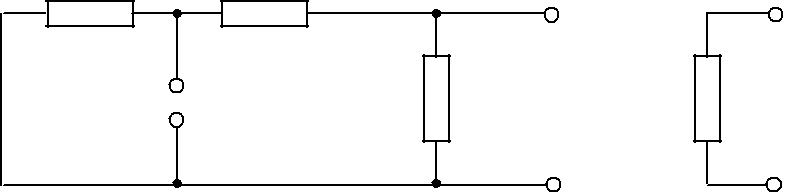
Соответственно напряжение холостого хода UXX EИС , В.

3. Определяем сопротивление эквивалентного источника, которое должно быть равно внутреннему сопротивлению пассивизированной активной цепи. Пассивизированние цепи означает удаление из неё ис-точников тока и напряжения (ЭДС), которое делает цепь пассивной. Ветви, где были включены источники тока, заменяются разрывом, а ветви с ЭДС – перемычкой (рис.6). В зависимости от вида соединения сопротивлений составляем формулу для расчёта эквивалентного со-противления, которое равно сопротивлению на источнике RЭК RИС.

RИС  R  R  ⋅ R  , Ом .

R  R  R 

19

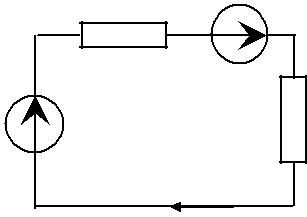
R1 R2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| R4 |  |  |  | RИС |  |
|  |  |  |  |

Рис. 6

4. Находим ток в нагрузке IН I . Строим эквивалентную схему замещения (рис.7), учитывая то, что мы, разрывая цепь, исключили источник напряжения E и сопротивления R  и R , следовательно, мы

не учли их влияние на нашу цепь, поэтому в данной схеме мы должны включить их в цепь.



RИС

E3

EИС

RН

IН

Рис. 7

IН  EИС E ,A ,

RИС  RН

где RН R   R  Ом . Видим, что ток получился равным ранее

рассчитанному I .

Ниже приведена программа для расчётов токов ветвей методом эк-вивалентного источника в системе Mathcad.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| E1  16 | | | E2  18 | E3  20 | | | | J4  1 | |  |
| R1  30 | | | R2  70 | R3  15 | | | | R4  26 R  4 | |  |
| Iei  | E2 − E1 − R1⋅ J4 | | | | |  | Uxx −Iei⋅R4 | | |  |
| R1  R2  R4 | | | | | |  |
|  |  |  |  |  |
| Rab  | | ( R1  R2) ⋅ R4 | | |  | | I3  | Uxx  E3 |  |  |
| R1  R2  R4 | | | | | Rab  R3  R | |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  | 20 |  |  |

***5.5 Баланс мощности***

Определим баланс мощности. Баланс мощности основан на законе сохранения энергии: скорость поглощения энергии элементами цепи равна скорости отдачи энергии источниками. Потребители на постоян-ном токе – резисторы или резистивные сопротивления, в частности эквивалентные. На переменном токе баланс мощности определяется отдельно по активным и реактивным составляющим, то есть баланс активной и реактивной мощности. Найдем мощности источников и нагрузок. Если задача решена правильно, то они должны быть равны. Мощности источников определяются произведением напряжения (ЭДС) на ток. В общем случае баланс мощности замкнутой электриче-ской цепи записывается в следующем виде:

∑Ek ⋅ Ik  UJk ⋅ Jk   ∑Ik ⋅ Rk ,

где ∑Ek ⋅ Ik – алгебраическая сумма произведения ЭДС на токи вет-вей; здесь положительны те слагаемые, для которых направления дей-

ствия ЭДС Ek и соответствующего тока Ik совпадают, в противном

случае слагаемое отрицательно; ∑ UJ k ⋅ Jk – алгебраическая сумма

произведения напряжений на источниках тока на токи источников то-ка; здесь положительны те из слагаемых, для которых направления напряжения на источнике тока и токов источников тока не совпадают, в противном случае слагаемое отрицательное. В нашем случае

PИСТ  E ⋅ I − E ⋅ I  E ⋅ I  UJ ⋅ J

 −, − ,, ≈ , Вт, UJ E − R ⋅I −−, , B,

PПОТ  R ⋅I R  ⋅I  R   R⋅I  R  ⋅I 

,,,,≈, Вт.

Из расчетов видно, что баланс мощности выполняется достаточно точно.

Ниже приведена программа для расчёта *баланса мощности* в сис-теме Mathcad.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| E1  16 | E2  18 | E3  20 | J4  1 |
| R1  30 | R2  70 | R3  15 | R4  26 R  4 |

Pпот  R1⋅ I12  R2⋅ I22  ( R3  R) ⋅ I32  R4⋅ I42

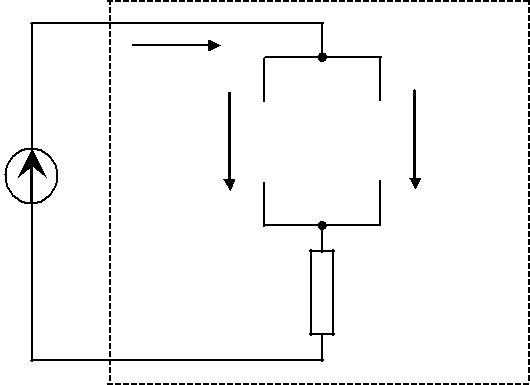
UJ  V1

Pист  E1⋅ I1 − E2⋅ I2  E3⋅ I3  J4⋅UJ

21

***6. Задача 1.2***

Задан двухполюсник, схема которого в общем виде приведена на рис.8.



i(t)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| i1(t |  | Z 1 Z |  | i2(t) |
|  |  |  |  |  |

u(t)

Z 3 

Рис. 8

Конкретная схема двухполюсника определяется в соответствии с номером варианта рис. 9 (а, б, в).

Сопротивления двухполюсника имеют следующие численные зна-чения: R  Ом , XL  Ом , XC  Ом . На входе двухполюс-

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ника | действует | источник | гармонической | ЭДС |
| ut  Um ⋅ sinω ⋅ t  ΨU  . | | Значения | амплитуды Um , | частоты |

ω  2⋅ π ⋅ *f* , начальной фазы ΨU приведены в таблице 4. При решении задачи:

1. Запишите комплексные сопротивления Z , Z , Z и рассчитайте эквивалентное комплексное сопротивление ZЭК .
2. Используя комплексные числа, рассчитайте комплексные токи I , I , I и комплексные напряжения на всех элементах цепи.
3. Приведите векторную диаграмму токов I , I , I .

4. Запишите выражения для мгновенных значений токов i(t) , i(t) , i (t) и напряжения на резисторе u R t .

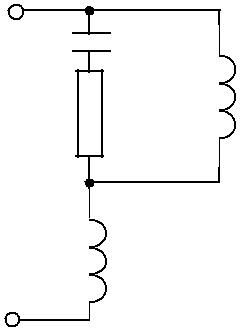
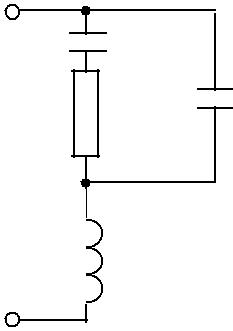
1. Постройте графики зависимости от времени i(t) и u(t) .
2. Вычислите активную и реактивную мощность.
3. Рассчитайте индуктивность катушки L и емкость C .

22

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | Таблица 4 | |
| Варианты | Um , B | f , Гц | ΨU , град |  |
|  |  |  |  |  |
| от 00 до 09 | 10 | 100+n | 45 |  |
| от 10 до 19 | 20+n | 300 | – 30 |  |
| от 20 до 29 | 30 | 900+n | 90 |  |
| от 30 до 39 | 40 | 500+n | 180 |  |
| от 40 до 49 | 50 | 1000 | – 180 |  |
| от 50 до 59 | 60+n | 700 | 135 |  |
| от 60 до 69 | 70+n | 400 | 30 |  |
| от 70 до 79 | 80+n | 200 | – 45 |  |
| от 80 до 89 | 90 | 600+n | 150 |  |
| от 90 до 99 | 100+n | 800 | – 135 |  |

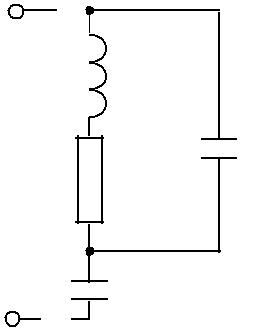
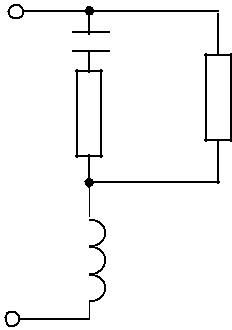
Здесь n – последняя цифра зачетки.

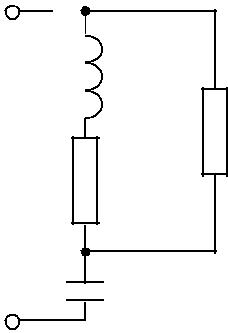
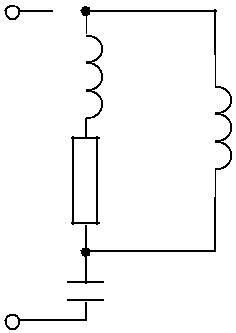
.



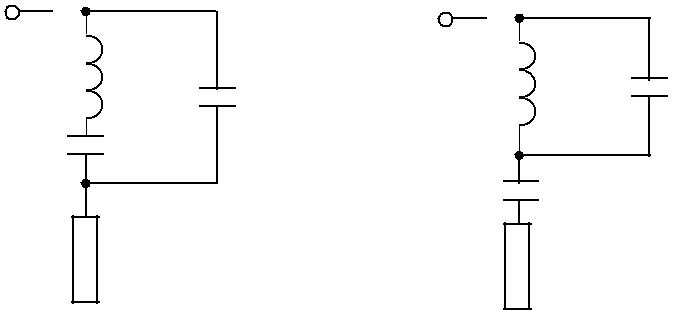
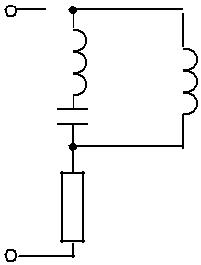
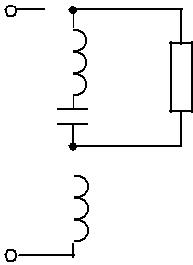
|  |  |
| --- | --- |
| C | C |
| C | L |
| R | R |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | L |  | L |
|  | 1 |  | 2 |
|  |  | Рис. 9 а |  |
| C |  |  |  |
|  |  | L |  |
| R | R |  | C |
|  |  | R |  |
| L |  |  |  |
|  |  | C |  |
|  | 3 | 23 | 4 |





|  |  |
| --- | --- |
| L | L |
|  | L |
|  | R |
| R | R |
| C | C |
| 5 | 6 |
| L | L |
|  | L |
| C | C |
| L | R |
|  | Рис. 9 б |
| 7 | 8 |



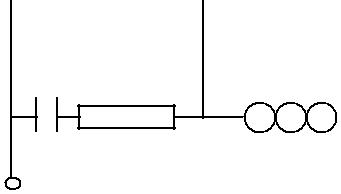
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| L | C | L | C |  |
|  |  |
|  |  |  |  |
| C |  |  |  |  |
|  |  | C |  |  |
| R |  | R |  |  |
|  |  |  |  |
| 9 |  |  | 10 |  |
|  |  | Рис. 9 в |  |  |
|  |  | 24 |  |  |



***7. Методические указания к решению задачи 1.2***

До решения задачи следует повторить теоретический материал по учебникам и задачнику [7,10], глава 2 и рассмотреть задачи 2.1, 2.3, 2.21, 2.28 и 2.30, вспомнив правила вычислений с комплексными чис-лами. Пример расчета приведен на основе схемы рис. 10 и данных таб-

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| лицы 5. | |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | C | |  |  |
|  | C | |  | R |  | L |



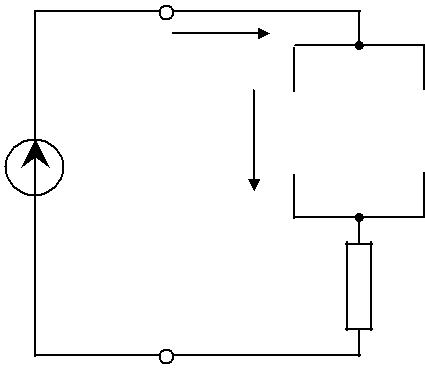
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | Рис. 10 | |  |  |  |  |  | Таблица 5 | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| R | XL | |  | XC |  | Um |  | f | | | ΨU |  |  |
| Ом | Ом | |  | Ом |  | B |  | Гц | | | град |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 | 10 | | 15 | |  | 9 | 60 | | | | 270 |  |  |



u(t)  Um ⋅ sinω ⋅ t  ΨU   ⋅ sinω ⋅ t , B

В данной задаче все расчёты производятся на основании закона Ома в комплексной форме по схеме рис. 11.

1. Строим эквивалентную схему замещения и согласно ей высчи-тываем комплексное сопротивление, ток, напряжение. Метод ком-плексных амплитуд – это расчёт гармонических токов и напряжений в комплексной форме. Каждое значение гармонических токов и напря-жения заменяем соответствующим комплексным числом, которое на-зывается комплексным током или комплексным напряжением.



I



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| I1 |  | Z 1 Z 2 |  | I2 |
|  |  |  |  |  |

U

Z 3

Рис. 11 25

– модуль комплексного

2. Определим сопротивление первого элемента схемы замещения. Он состоит из конденсатора и резистора, соединённых последователь-но, поэтому общее сопротивление элемента рассчитывается как сумма комплексных сопротивлений элементов первоначальной схемы. Со-

|  |  |
| --- | --- |
| противление в | комплексной форме на ёмкости ZC  − j⋅ XC , где |
| XC  ω ⋅ C. Сопротивление на резисторе R . Получается комплекс- | |
| ное число вида | Z  R  ZC  R − j⋅ XC  R − j⋅ ω ⋅ C. Аналогично |



определяются сопротивления второго и третьего элементов схемы за-мещения. Для них соответственно можно записать:

Z  ZC  − j⋅ XC  − j⋅ω⋅CZ  ZL  j⋅ XL  j⋅ ω⋅ L

где ZL  j⋅ XL  j⋅ ω ⋅ L – сопротивление в комплексной форме на ин-дуктивности. Выразим комплексные сопротивления Z , Z , Z в по-казательной форме. В общем виде комплексное сопротивление равно

Z  Z⋅expj⋅ ϕ, где Z ReZImZ



сопротивления, ϕ  argZ  arctgImZReZ – аргумент комплекс-ного сопротивления. Следовательно:

Z R  XC ⋅ expj⋅ arctg− XC R

*   XC ⋅ expj⋅ arctg− XC  XC⋅expj⋅arctg− ∞XC⋅exp−j⋅
*   XL ⋅ expj⋅ arctgXL  XL⋅expj⋅arctg∞XL⋅expj⋅

|  |  |
| --- | --- |
| Т.к. XL  Ом, XC |  Ом, R  Ом для Z , Z , и Z получаем: |
| Z |  − j⋅, ⋅ exp − j⋅ , |

Z  − j⋅ ⋅ exp− j⋅ 

Z  j⋅ ⋅ exp  j⋅ 

Эквивалентное сопротивление схемы определяется согласно зако-нам параллельного и последовательного соединения. Так как Z и Z

соединены параллельно, то их общее сопротивление Z ⋅ Z ZZ**,**

а затем они соединены последовательно с Z . Таким образом, ком-

плексное эквивалентное сопротивление записывается в следующем виде:

ZЭК  Z  Z ⋅ Z ZZ,j⋅,,⋅expj⋅,

26

, B .

По закону Ома находим токи элементов и напряжения. Используем среднеквадратичное или действующее значение гармонических коле-

баний, которое меньше их амплитудных значений в раз. Дейст-

вующее значение входного напряжения равно U  Um 

Комплексное действующее значение входного напряжения равно: U  U ⋅ expj⋅ ΨU  , ⋅ exp j⋅   − j⋅ ,

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Комплексное действующее значение | входного тока | равно |
| I  U ZЭК , ⋅ exp j⋅ ,  −, − j⋅, . | Комплексные | дейст- |



вующие значения токов в разветвленных частях цепи соответственно равны:

|  |  |
| --- | --- |
| I  I ⋅ Z | Z  Z ,⋅ expj⋅  −, − j⋅ , |
| I  I ⋅ Z | Z  Z  , ⋅ expj⋅ ,  −− j⋅ , |

Комплексные действующие значения напряжений на Z , Z и Z

соответственно равны:

U  I ⋅ Z , ⋅ exp j⋅,  −, j⋅,

U  I ⋅ Z , ⋅exp j⋅, −, j⋅,

U  I ⋅ Z  ⋅ exp j⋅ , , − j⋅ ,

Комплексные действующие значения напряжений на ZC и R соот-

ветственно равны:

UC  I ⋅ ZC , ⋅ exp j⋅  −, j⋅,

UR  I ⋅ R , ⋅ exp j⋅  −, − j⋅,

Записываем напряжение и токи в мгновенной тригонометрической

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| форме. | Для | этого | применяем | формулу | общего | вида | | |  |
| st  Sm ⋅ sinω ⋅ t  ΨS , где st – мгновенное значение, Sm  S⋅ | | | | | |  |  |  |  |
|  |  – | |  |



амплитудное значение ( S – действующее значение), ω – частота коле-баний, ΨS – начальная фаза (град).

Мгновенное значение напряжения на резисторе R равно: uR t , ⋅ ⋅sinω ⋅t,⋅sinω ⋅t, B

Аналогично для тока:

it , ⋅ ⋅sinω ⋅t,,⋅sinω ⋅t,, Ait ,⋅ ⋅sinω ⋅t,⋅sinω ⋅t, A⋅ ⋅sinω ⋅t,,⋅sinω ⋅t,, A

27

Вычислим активную и реактивную мощность, потребляемую от ис-точника.

PИСТ  U ⋅ I ⋅ cosϕ , ⋅ , ⋅ cos − , , Вт

QИСТ  U ⋅ I ⋅ sinϕ , ⋅ , ⋅ sin − , , ВAр

Найдём индуктивность катушки и емкость конденсатора.

* +  XL  ω  XL  ⋅ π ⋅f,мГн,⋅−Гн
*  XC ⋅ ω  XC⋅⋅ π ⋅fмкФ,⋅−Ф

На основании полученных значений строим векторные диаграммы рис. 12. Представим гармонические токи вращающимися векторными комплексными функциями. Длина векторов равна амплитудам ком-плексных токов:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| I | m |  I | m | ⋅ exp j⋅ Ψ , где | I | m | | , A , Ψ ,  | | | | |  |
|  |  | I |  |  |  | I |  |  |  |
| I |  |  I |  | ⋅ exp j⋅ Ψ , где | I | | m | | , A , | Ψ |  |  |  |
| m | | m | |  |  |  |  | I | |  |  |
| I m  I m ⋅ exp j⋅ ΨI , где | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I m , A , | | | | | ΨI | | ,  |  |

В алгебраической форме запись амплитудных комплексных токов выглядит следующим образом:

Im  −,− j⋅, . Im  −, − j⋅ , . I m  −, − j⋅, . Построение диаграмм выполняем на комплексной плоскости. Для

этого знаком  обозначаем положительное направление вещественной оси, а j − – положительное направление мнимой оси. Вектора токов вращаются против часовой стрелки.

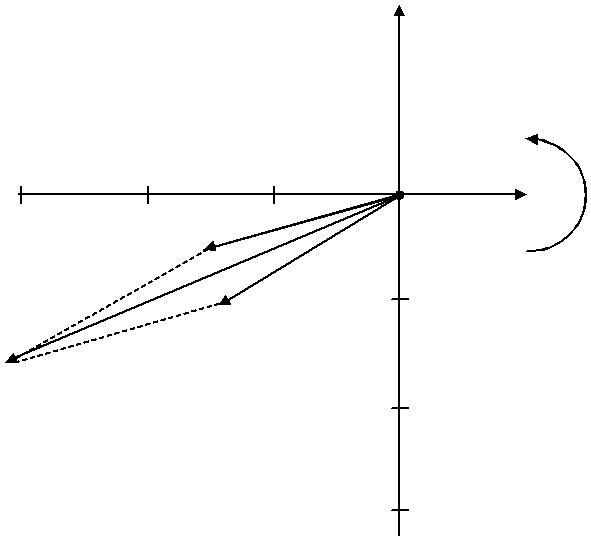
Построим на одном графике (рис. 13) зависимости i(t) и u(t) . Для этого определим период колебаний T f ,смс.

Кроме того, надо учесть начальные фазы напряжения ΨU   и

тока ΨI ,  . В этом случае графики напряжения и тока будут сме-

щены влево относительно начала координат на t u  T ⋅ ,мсиtiT⋅,,мс.

28



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | j |  |
|  |  |  | ω |  |
| -3 | -2 | -1 | 0 |  |
|  | I1m |  |  |  |
|  |  | I2m | -1 |  |
|  |  |  |  |
|  | Im |  | -2 |  |
|  |  |  | -3 |  |
|  |  |  | Рис. 12 |  |
|  | Um | s(t) |  |  |
|  | u(t) | Im |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  | i(t) |  |
|  | tu ti | 0 | t |  |
|  |  |  |  |

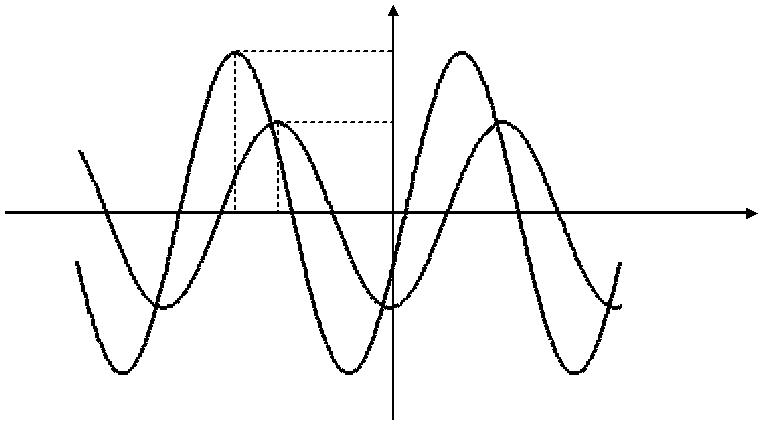


Рис. 13 Приведём пример в системе Mathcad.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Um  9 | f  60 | ψu  | 3⋅π | ω  2⋅π⋅f |  |
| 4 |  |
|  |  |  |  |  |
| R  5 | XL  10 | XC  | 15 |  |  |
| Z1  R − i⋅ XC Z2  −i⋅ XC | | |  | Z3  i⋅ XL |  |
|  |  |  |  | 29 |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | Z1⋅ Z2 | | | | | | |  |  |  |  |  | U  | | | | | | | Um | | | | | ⋅ei⋅ψu | | | | | |  | I  | U |  | |  |  |  |  |  |  |
| ZBX  | | |  | |  | Z3 |  |  |  |  |  | ZBX | | |  |  |  |  |  |  |
|  | Z1  Z2 | | | | | | | | |  | 2 | | | | | | | | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Z12  | | | |  | Z1⋅ Z2 | | | | | |  | |  |  |  | U12  I⋅Z12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Z1  Z2 | | | | | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | U12 | | | |  |  |  |  |  | | | |  |  | U12 |  |  |  |  |  |  |  | | |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| I1  | |  |  | I2  | | | | | | | |  |  | Im  | | | | | | | | | I | | ⋅ | 2 |  |  |  |  | ψi  arg (I) | | | |  |  |  |  |  |  |
| Z1 | | | | | Z2 |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| w  ω⋅10− 3 i( t)  Im⋅ sin  w⋅ t  ψi | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | u ( t)  Um⋅ sin  w⋅ t  ψu | | | | | | |  |  |  |
| T  | 2⋅π | | | |  | |  | T  | | | | | | 1 |  | P  R ⋅  | | | | | |  | I1 | | |  | 2 | | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | | | | f | |  |  |  |  |  | 1 |  |  | XL | |  |
|  |  | ω | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Q  −XC⋅ | | | | | | |  | I1 |  | 2 − XC⋅  | | | | | | | |  | I2 |  | 2  XL⋅  | | | | | | | | | | | |  | I |  | 2 | C  | |  |  | L  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | ω⋅ XC | | | ω | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



***8. Задача 1.3***

Электрические цепи, содержащие индуктивно-связанные элементы, находятся под действием идеальных источников синусоидального тока

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| J рис. 14 (а, б, в). Для | всех вариантов XM  ω ⋅ M  Ом | и |
| it  Jm ⋅ sinω ⋅ t  ΨI , где | M – взаимоиндуктивность, Jm  мA | – |

амплитудное значение тока, ΨI  −  – начальная фаза. Номер схе-

мы выбирается по таблице 1. Параметры остальных элементов цепей определены в таблице 6.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | Таблица 6 | |
| Варианты | R, Ом | R , Ом | XL , Ом | XC , Ом |  |
| от 00 до 09 | 10+n | 10 | 40 | 20 |  |
| от 10 до 19 | 20 | 10+n | 70 | 30 |  |
| от 20 до 29 | 30+n | 20 | 60 | 40 |  |
| от 30 до 39 | 40 | 20+n | 40 | 60 |  |
| от 40 до 49 | 50+n | 30 | 50 | 70 |  |
| от 50 до 59 | 10 | 30+n | 60 | 90 |  |
| от 60 до 69 | 20+n | 40 | 70 | 80 |  |
| от 70 до 79 | 30 | 40+n | 80 | 60 |  |
| от 80 до 89 | 40+n | 50 | 90 | 70 |  |
| от 90 до 99 | 50 | 50+n | 70 | 90 |  |
|  |  |  |  |  |  |

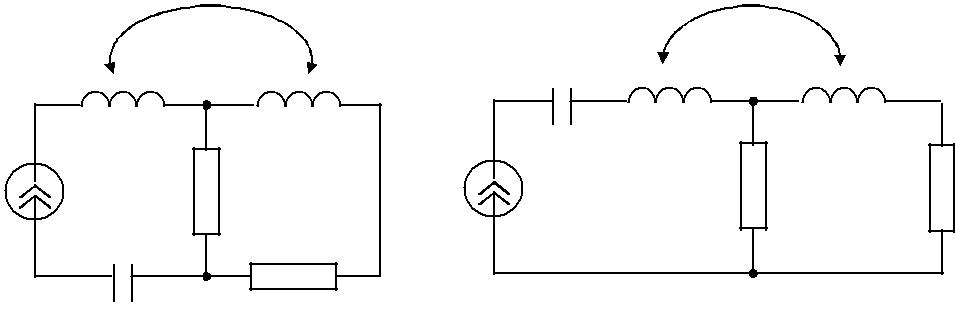
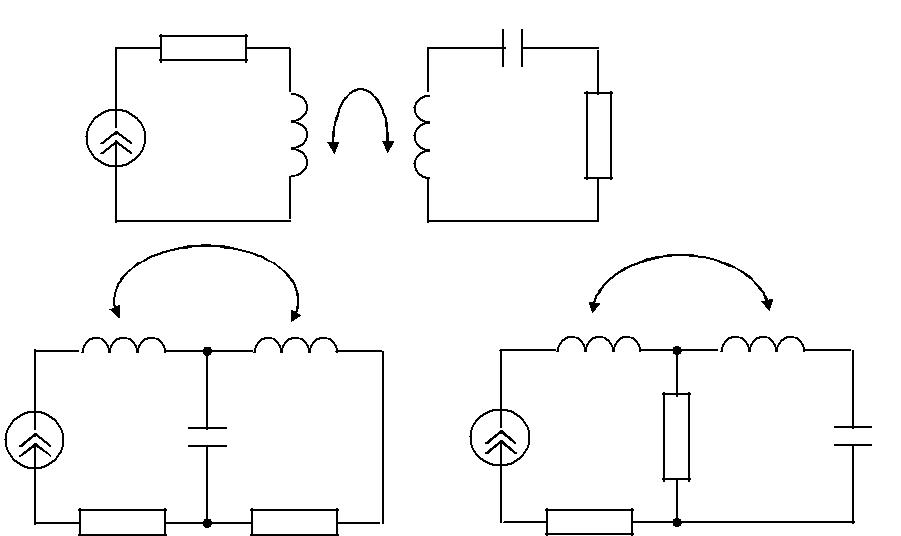
Здесь n – последняя цифра зачетки.

Рассчитайте цепь вашего варианта согласно пунктам следующего задания.

30

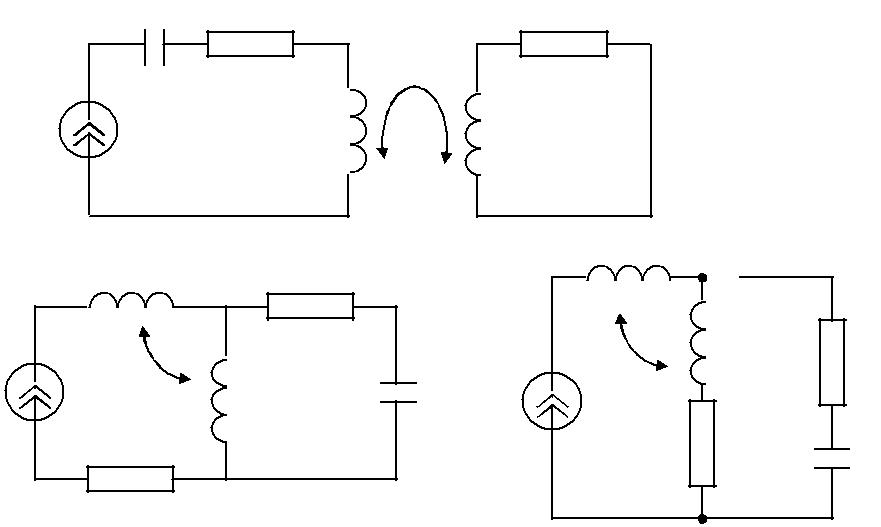
1. Перечертите схему рис. 14 (а, б, в) выбранного варианта.
2. Вычислите все комплексные токи схемы.
3. Рассчитайте комплексные напряжения на индуктивности, при-мыкающей к источнику тока.
4. Постройте в масштабе векторную диаграмму всех токов и на-пряжения на индуктивности, примыкающей к источнику тока.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| R1 | | C |  |  |  |
|  | \* | \* |  |  |  |
| J | L | L | R2 |  |  |
|  | M |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | M | 1 |  |  |  |
|  |  | M |  |  |
|  |  |  |  |  |
| \* | \* | \* | \* |  |  |
| L | L | L | L |  |  |
| J | C |  | R2 | C |  |
|  | J |  |
|  |  |  |  |  |
| R1 | R2 | R1 |  |  |  |
| 2 |  |  | 3 |  |  |
|  |  | Рис. 14 а |  |  |  |
|  | M |  | M |  |  |
| \* | \* | \* | \* |  |  |
| L | L | C | L | L |  |
|  | R1 |  | R1 | R2 |  |
| J |  | J |  |  |  |
| C 4 | R2 |  | 5 |  |  |
|  |  |  |  |

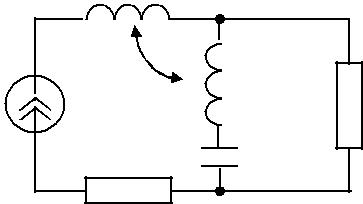


31

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| С | R1 | R2 |  |  |
|  | \* | М |  |  |
|  |  |  |  |
| J | L | L |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  | \* |  |  |
|  | 6 | L | \* |  |
| L | R2 |  |  |
| \* |  |  |  |  |
|  |  |  | L |  |
| M |  | M | R2 |  |
|  | L |  | \* |  |
| J | C | J | R1 |  |
|  | \* |  |
|  |  |  | C |  |
| R1 | 7 |  | 8 |  |
|  |  |  |



* L



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| M | L |  |
| J | R2 |  |
| \* |  |
|  | C |  |

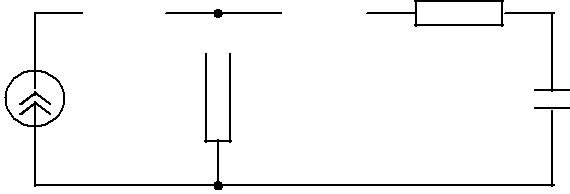
* R1

Рис. 14 б



M

\*\* L  L



R2

R1 C

J

10

Рис. 14 в 32

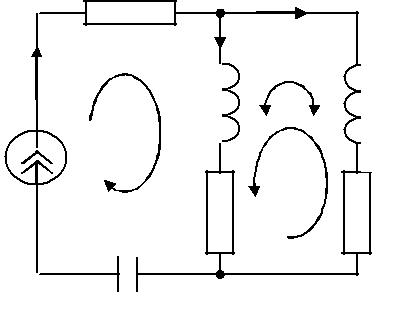
***9. Методические указания к решению задачи 1.3***

Приведем пример расчета на основе схемы рис. 15 и данных табли-цы 7. На заданную электрическую цепь (рис. 15) воздействует пере-менный ток it  Jm ⋅ sinω⋅ t  ΨJ , где Jm  мA – амплитудное

значение тока, ΨJ  −  – начальная фаза. Рассчитаем все неизвест-

ные токи и напряжение на индуктивности, примыкающей к источнику тока, построим векторные диаграммы.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | I 3 |  |  |
| J | R1 | I 2 | \* | M |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  | I A | L |  |  | L |  |
|  |  |  |  | \* |  |
| J |  | R 2 |  | I B | R |  |
|  |  |  |  |



C

Рис. 15

Таблица 7

R, Ом R , Ом XL, Ом XM , Ом

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 30 | 20 | 20 | 20 |

Для расчета неизвестных комплексных токов I , I воспользуемся методом контурных токов. Число уравнений

NМКТ  NВ − NУ  − NJ . Выбираем направление комплексных контурных токов IА и IB как показано на рис. 15. Обратите внимание, что

IА  J  Jm ⋅ exp j⋅ ΨJ   −, j⋅ ,, ⋅ exp− j⋅ , A



Составим уравнение для определения неизвестного контурного тока IB . Схема со взаимной индуктивностью, поэтому необходимо учиты-вать влияние контурных токов IА и IB , протекающих через индуктив-ные элементы. Ветвь с током I является общей для контурных токов

IА и IB . В ветви с током I контурный ток IА создает напряжение

33

взаимоиндукции j⋅ J ⋅ XM , которое следует взять со знаком “ + ”, т.к. контурные токи IА и IB направлены одинаково относительно одно-именных зажимов, помеченных «звездочками». В свою очередь, кон-турный ток IB создает одинаковые напряжения взаимной индукции j⋅ IB ⋅ XM в ветвях с токами I и I соответственно. При этом данные напряжения следует взять со знаком “ + ”, т.к. контурный ток IB оди-

наково ориентирован относительно одноименных зажимов. Таким об-разом, уравнение будет иметь следующий вид:

IB ⋅ R  R  ⋅ j⋅ XL  IA ⋅ R  j⋅ XL  IA ⋅ j⋅ XM ⋅ IB ⋅ j⋅ XM 

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| IB | − | J ⋅ R | |  j⋅ XL |  j⋅ XM  |  | , − j⋅,, ⋅ exp− j⋅, |  |
| R |  R |  ⋅ j⋅ XL  XM  | | |  |
|  |  |  |  |

Через контурный ток IB определяем неизвестные токи ветвей I и I .

I  J  IB  −, j⋅ ,,⋅ exp− j⋅ ,, A I  −IB  −, j⋅,, ⋅ exp− j⋅,, A

Рассчитаем напряжение на индуктивности, примыкающей к источ-нику тока согласно второму закону Кирхгофа. Оно будет определятся напряжением самоиндукции I ⋅ j⋅ XL и напряжением взаимоиндукции

−I ⋅ j⋅ XM , взятого со знаком “–”, поскольку направление I и на-правление тока I ориентированы относительно одноименных зажи-мов различно. Следовательно:

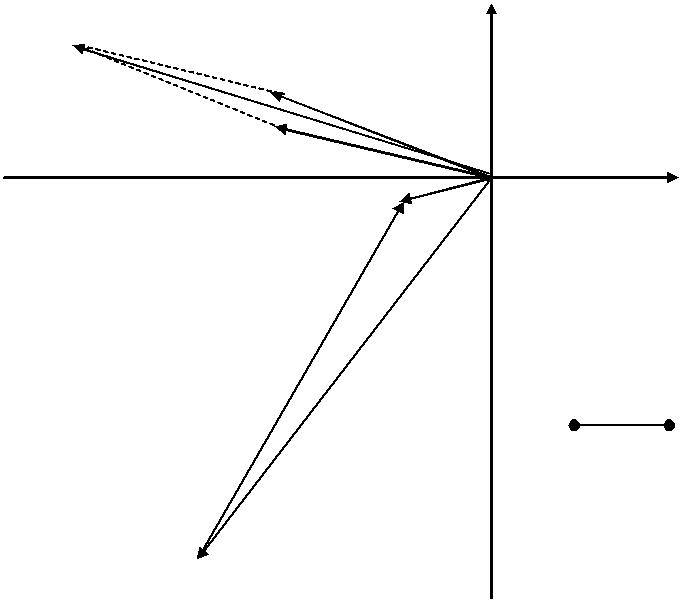
UL  I ⋅ j⋅ XL − I ⋅ j⋅ XM  −, − j⋅ , ⋅ exp− j⋅, B

где

* +  ⋅ j⋅ XL  −, − j⋅,⋅ exp− j⋅, B − I ⋅ j⋅ XM , j⋅, ⋅ exp− j⋅ ,, B

34

j



J

I 2

I 3

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| UL | 0 | + |  |
|  |  |

– I3 j XM

10 В

1 А

I2 j XL

Рис. 16

На комплексной плоскости представлена векторная диаграмма то-ков I , I (рис. 16). На векторной диаграмме векторным сложением

проверено, что выполняется первый закон Кирхгофа: J  I  I . На диаграмме показаны отдельно векторы всех составляющих напряжения (самоиндукции I ⋅ j⋅ XL и взаимоиндукции −I ⋅ j⋅ XM ) на индуктив-ности и вектор результирующего напряжения на ней UL .

35