

**Некоммерческое
акционерное
общество**



**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра
электротехники

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания и задания
к расчетно-графическим работам № 1- 4 для студентов специальности
5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства

Алматы 2018

СОСТАВИТЕЛИ: Л.П. Болдырева, Г.К. Смагулова. Теоретические основы электротехники. Методические указания и задания к РГР №1-4 для специальности 5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства – Алматы: АУЭС, 2018. -36 с.

Приводятся задания и методические указания к расчетно-графическим работам по курсу ТОЭ по темам: «Линейные электрические цепи постоянного тока», «Электрические цепи однофазного синусоидального тока», «Трехфазные цепи».

Расчетно-графические задания предназначены для студентов второго курса, обучающихся по специальности 5В081200- Энергообеспечение сельского хозяйства.

Ил.62 , табл.12 , библиогр.- 8 назв.

Рецензент: доцент кафедры ТКСС Гармашова Ю.М.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2018 г.

©НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2018 г.

Содержание

Введение	4
1 Задание № 1. Расчет разветвленных линейных цепей постоянного тока	5
2 Задание № 2. Расчёт электрических цепей однофазного синусоидального тока со смешанным соединением приемников.....	16
3 Задание № 3. Расчет разветвленных электрических цепей однофазного синусоидального тока	19
4 Задание № 4. Расчет симметричных и несимметричных режимов в трехфазных цепях со статической нагрузкой	25
Список литературы	35

Введение

Расчётно-графические работы (РГР) являются важнейшим компонентом при изучении курса «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ). Выполнение РГР позволяет студенту применить теоретические положения при проведении практических расчётов, получить навыки самостоятельного анализа электрических цепей, что в конечном итоге способствует успешному освоению курса ТОЭ.

Предлагаемая методическая разработка содержит задания и методические указания к трем РГР по основным разделам ТОЭ. РГР №1 посвящена расчёту разветвлённых линейных электрических цепей постоянного тока с использованием основных методов расчёта электрических цепей. В РГР №2 и №3 производится расчёт линейных электрических цепей однофазного синусоидального тока комплексным методом. Расчет симметричных и несимметричных режимов трехфазных цепей является РГР № 4.

При выполнении расчётно-графических работ необходимо:

1) Выбрать свой вариант, текст задания должен быть переписан полностью без сокращений в пояснительную записку расчётно-графической работы.

2) Каждый этап расчётно-графической работы должен быть озаглавлен. Работа выполняется только на одной стороне листа.

3) В пояснительной записке приводить не только расчётные формулы и конечные результаты, но также пояснения и необходимые промежуточные вычисления, позволяющие понимать выполняемые действия и проверять их.

4) Номер варианта и группа, фамилия и инициалы студента должны быть написаны на титульном листе.

5) Для параметров, имеющих определённые размерности, писать соответствующие единицы измерения, над комплексами ставить точки.

6) Не допускать изменений наименований узлов, параметров, резисторов, индуктивностей, ёмкостей, условных положительных направлений токов и напряжений.

7) Кривые мгновенных величин, векторные и топографические диаграммы должны выполняться на вклеенных листах миллиметровой или клетчатой бумаги.

8) На графике обязательно указывать названия изображаемых величин. Подбирать масштабы так, чтобы было удобно пользоваться графиком или диаграммой. Схемы в пояснительной записке должны быть выполнены карандашом с применением линейки, циркуля.

9) Привести список использованной литературы.

1 Задание № 1. Расчёт разветвлённых линейных цепей постоянного тока

Цель работы: получение навыков записи уравнений по законам Кирхгофа для линейных электрических цепей постоянного тока, получение навыков расчета линейных электрических цепей постоянного тока методом контурных токов, методом узловых потенциалов, методом активного двухполюсника (эквивалентного генератора) и проверка баланса мощностей.

Задание расчетно-графической работы № 1.

Для электрической цепи, заданной в соответствии с вариантом таблицами 1.1-1.3 и рисунками 1.1-1.20, выполнить следующее:

- 1) Составить систему уравнений по законам Кирхгофа.
- 2) Рассчитать токи во всех ветвях методами контурных токов и узловых потенциалов, сопоставить результаты расчётов двумя методами, определить погрешность расчётов.
- 3) Рассчитать один из токов (указанный в таблице 1.3) методом активного двухполюсника (эквивалентного генератора) и сопоставить полученный результат со значениями этого тока, полученными при расчете методами контурных токов и узловых потенциалов.

Таблица 1.1

Год поступления	Последняя цифра студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Нечётный № рисунка	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
Чётный № рисунка	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20
$E_1, В$	100	0	0	200	150	0	0	0	250	0
$E_2, В$	0	120	200	180	0	150	0	180	200	150
$E_3, В$	120	0	150	0	200	180	100	250	100	0
$E_4, В$	250	180	0	0	250	200	150	200	0	250
$E_5, В$	0	250	100	250	0	0	200	0	0	120
$E_6, В$	200	100	250	150	180	120	220	150	200	100

Таблица 1.2

Год поступления	Предпоследняя цифра студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нечётный	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Чётный	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_1, \text{ Ом}$	30	80	60	30	20	100	60	90	30	70
$R_2, \text{ Ом}$	70	40	20	80	50	80	50	70	80	50
$R_3, \text{ Ом}$	90	60	50	60	70	20	20	90	60	30
$R_4, \text{ Ом}$	40	40	70	90	30	90	80	30	20	20
$R_5, \text{ Ом}$	60	90	90	40	100	40	60	50	50	40

Таблица 1.3

Год поступления	Первая буква фамилии				
	Нечётный	ЕАЖНУ	МБОЗФЫ	ВИПХЦТ	ГКРЭЦЯ
Чётный	ВИПХЦТ	ЕАЖНУ	ДЛСЮЧШ	МБОЗФЫ	ГКРЭЦЯ
$J, \text{ А}$	2	5	3	4	6
Рассчитать ток	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5

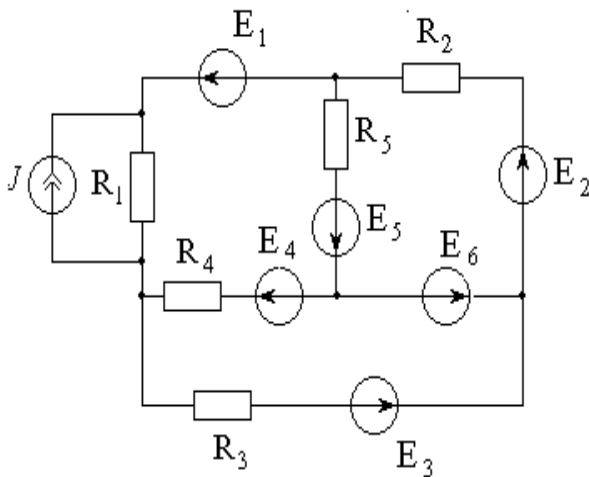


Рисунок 1.1

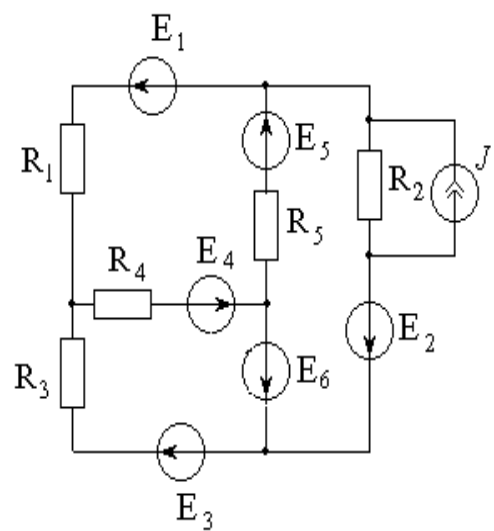


Рисунок 1.2

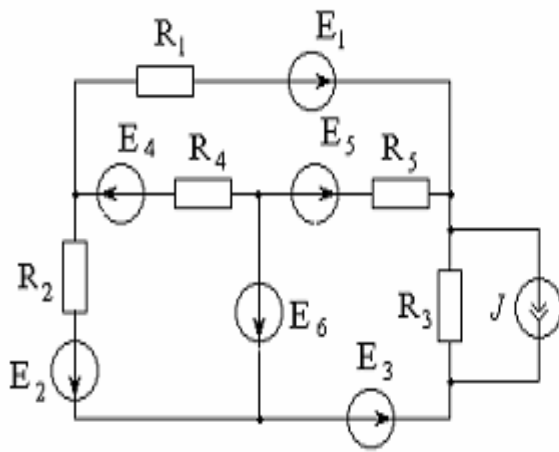


Рисунок 1.3

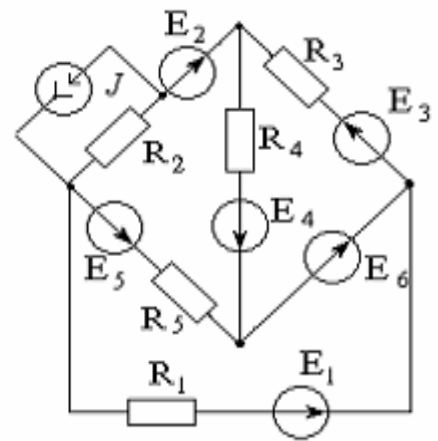


Рисунок 1.4

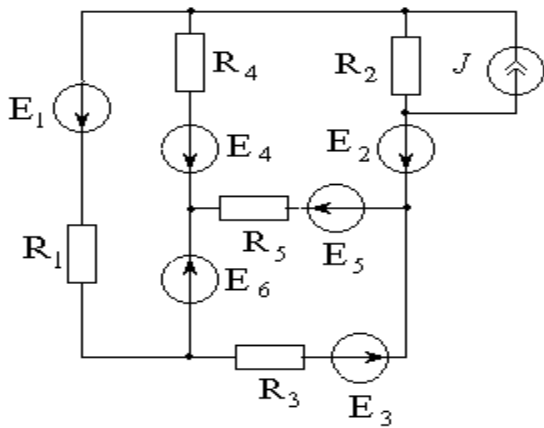


Рисунок 1.5

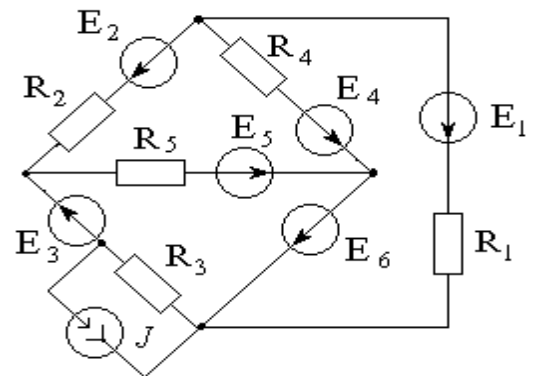


Рисунок 1.6

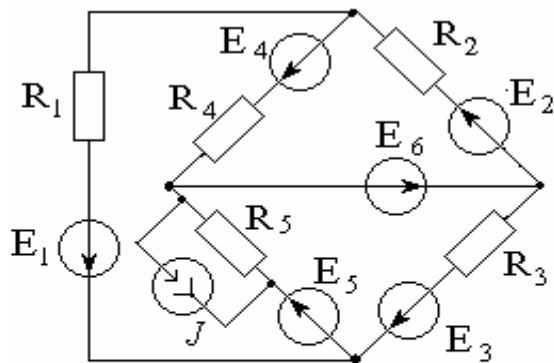


Рисунок 1.7

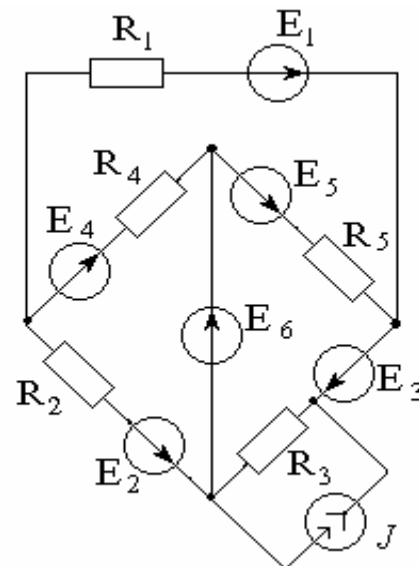


Рисунок 1.8

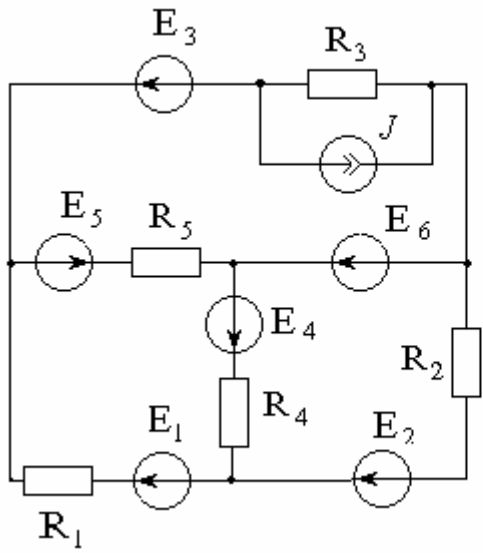


Рисунок 1.9

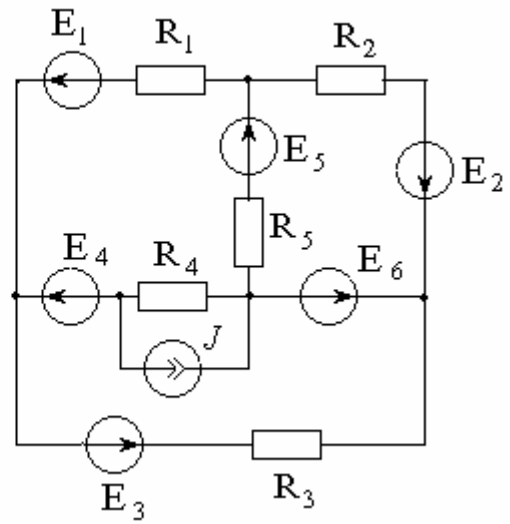


Рисунок 1.10

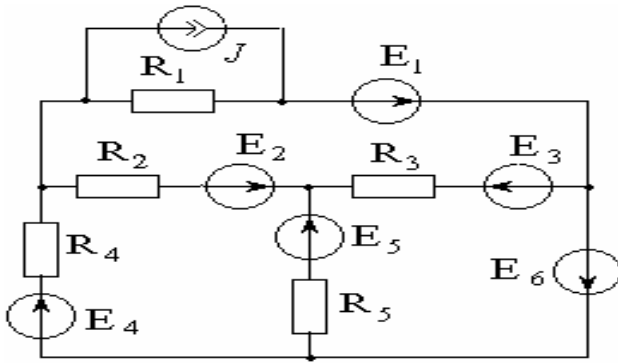


Рисунок 1.11

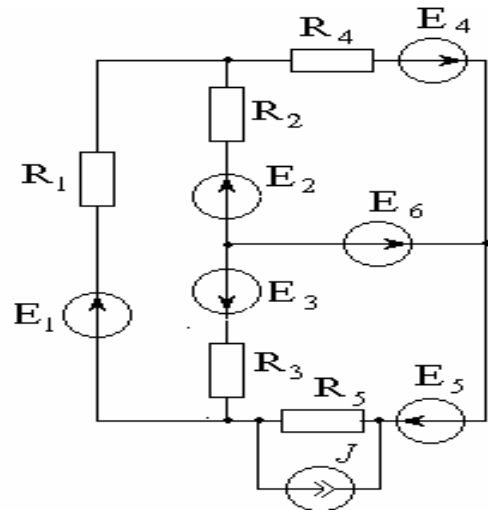


Рисунок 1.12

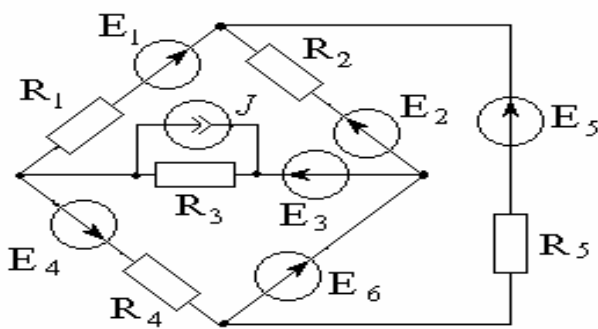


Рисунок 1.13

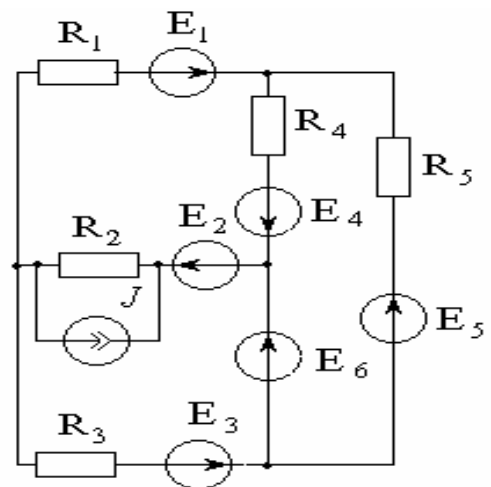


Рисунок 1.14

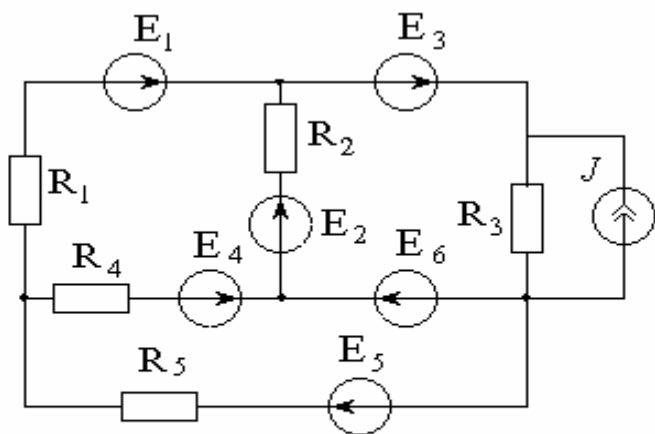


Рисунок 1.15

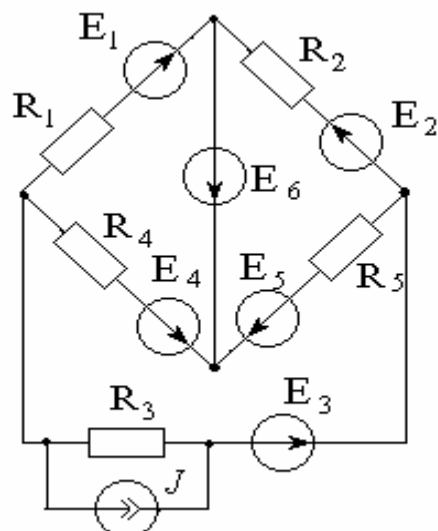


Рисунок 1.16

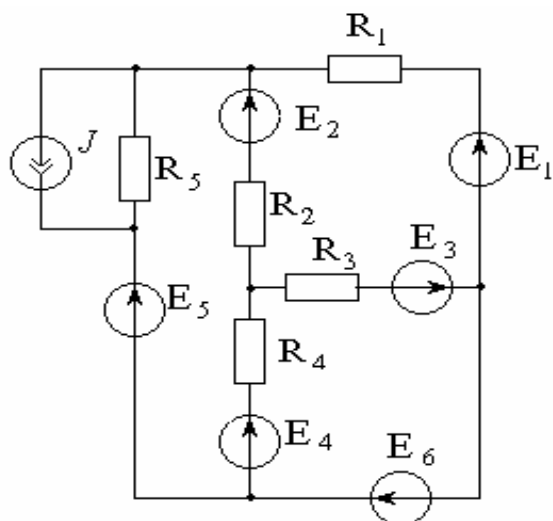


Рисунок 1.17

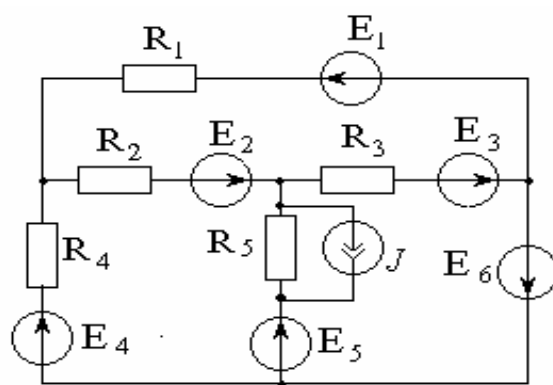


Рисунок 1.18

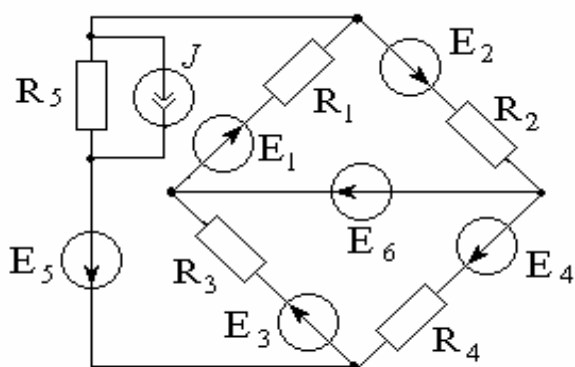


Рисунок 1.19

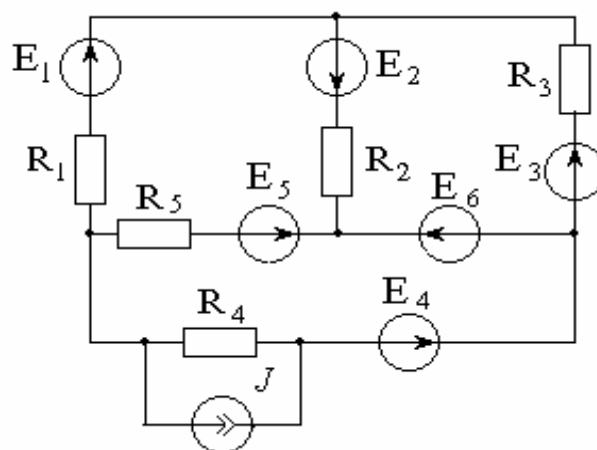


Рисунок 1.20

Методические указания.

Рассмотрим расчет на примере электрической цепи (рисунок 1.21).

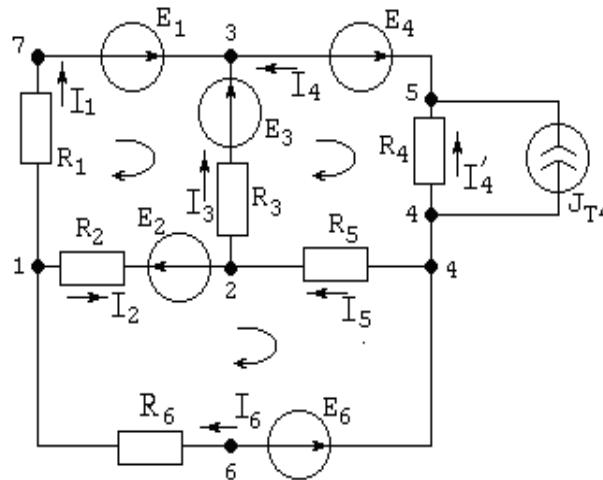


Рисунок 1.21

1.1 Составление уравнений на основании законов Кирхгофа

Выбираем произвольно положительные направления токов во всех ветвях схемы электрической цепи (рисунок 1.1).

Запишем уравнения по первому закону Кирхгофа. Первый закон Кирхгофа применяется к узлам схемы электрической цепи и формулируется следующим образом: алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum_{K=1}^n I_K = 0.$$

Число уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа, равно числу узлов минус 1. Для схемы (рисунок 1.1) число узлов $N_y = 5$. Число уравнений $Y = N_y - 1 = 5 - 1 = 4$. Токи, направленные к узлу, будем записывать с отрицательными знаками, токи, направленные от узла, с положительными:

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 + I_6 &= 0; \text{ (для узла 1);} \\ -I_1 + I_3 + I_5 &= 0; \text{ (для узла 2);} \\ -I_1 - I_3 - I_4 &= 0; \text{ (для узла 3);} \\ I_4 - I'_4 - J_{T4} &= 0 \text{ (для узла 5).} \end{aligned} \quad (1.1)$$

Запишем уравнения по второму закону Кирхгофа.

Второй закон Кирхгофа применяется к контурам схемы электрической цепи и формулируется следующим образом: в любом замкнутом контуре алгебраическая сумма напряжений на сопротивлениях, входящих в этот контур, равна алгебраической сумме ЭДС:

$$\sum_{K=1}^n R_K I_K = \sum_{K=1}^n E_K.$$

Выбираем взаимно независимые контуры. Контуры взаимно независимы, если каждый последующий контур, для которого составляется уравнение, имеет хотя бы одну новую ветвь и не получается из контуров, для

которых уже написаны уравнения, путем удаления из этих контуров общих ветвей. Контур не должен содержать ветвь с идеальным источником тока.

Выбираем, произвольно, направления обхода контуров. Положительные знаки принимаются для токов и ЭДС, положительные направления которых совпадают с выбранным направлением обхода контура. Отрицательные знаки принимаются для токов и ЭДС, положительные направления которых противоположны выбранным направлениям обхода контура.

Число уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа, равно:

$$K = N_B - N_T - Y,$$

где N_B - число ветвей;

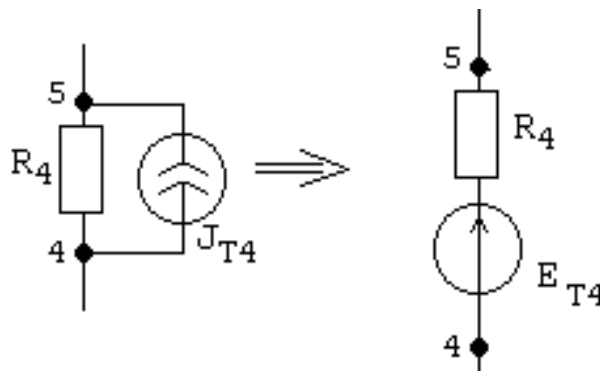
N_T - число ветвей с источником тока. $K = 8 - 1 - 4 = 3$.

$$\begin{aligned} R_1 I_1 - R_3 I_3 - R_2 I_2 &= E_1 - E_3 + E_2 \quad (\text{для контура 1-3-2-1}); \\ R_3 I_3 - R_4 I_4' + R_5 I_5 &= E_3 + E_4 \quad (\text{для контура 2-3-5-4-2}); \\ R_2 I_2 - R_5 I_5 + R_6 I_6 &= -E_2 - E_6 \quad (\text{для контура 1-2-4-1}). \end{aligned} \quad (1.2)$$

1.2 Расчет токов электрической цепи методом контурных токов

Заменяем источник тока J_{T4} эквивалентным источником ЭДС:

$$E_{T4} = R_4 \cdot J_{T4}.$$



Заменяем два источника ЭДС E_4 и E_{T4} одним эквивалентным источником $E_{34} = E_4 - E_{T4}$. Составим уравнения для расчета токов методом контурных токов для электрической цепи (рисунок 1.22).

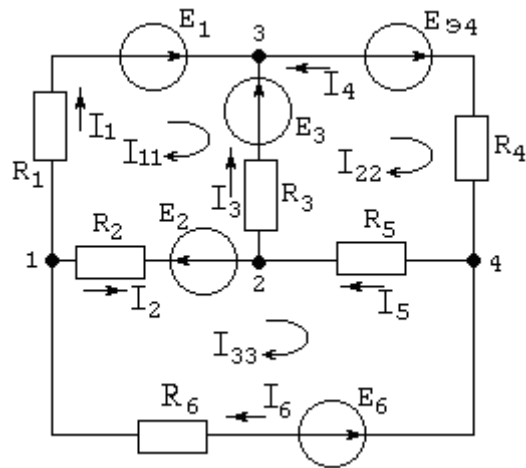


Рисунок 1.22

Выбираем взаимно независимые контуры, в каждом из которых замыкается один контурный ток. Положительные направления контурных токов выбираем произвольно. Число уравнений, составленных по МКТ, равно числу уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа:

$$\left. \begin{aligned} R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} + R_{13}I_{33} &= E_{11} \\ R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} + R_{23}I_{33} &= E_{22} \\ R_{31}I_{11} + R_{32}I_{22} + R_{33}I_{33} &= E_{33} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

R_{11}, R_{22}, R_{33} - собственные сопротивления контуров.

Собственное сопротивление контура равно сумме сопротивлений ветвей, входящих в данный контур:

$$\begin{aligned} R_{11} &= R_1 + R_2 + R_3; \\ R_{22} &= R_3 + R_4 + R_5; \\ R_{33} &= R_2 + R_5 + R_6. \end{aligned}$$

$R_{12}=R_{21}; R_{13}=R_{31}; R_{23}=R_{32}$ - общие сопротивления контуров.

Общее сопротивление контуров равно сопротивлению ветви, общей для этих контуров. Общее сопротивление берется со знаком «+», если контурные токи рассматриваемых контуров протекают через общие для этих контуров ветви в одинаковом направлении, знак «-», если контурные токи в общих ветвях имеют противоположные направления:

$$\begin{aligned} R_{12} &= R_{21} = -R_3; \\ R_{13} &= R_{31} = -R_2; \\ R_{23} &= R_{32} = -R_5. \end{aligned}$$

E_{11}, E_{22}, E_{33} - контурные ЭДС.

Каждая из контурных ЭДС равна алгебраической сумме ЭДС всех источников в ветвях, входящих в данный контур. Положительные знаки взяты для ЭДС, положительные направления которых совпадают с положительным направлением контурного тока, замыкающегося в данном контуре:

$$\begin{aligned} E_{11} &= E_1 - E_3 + E_2; \\ E_{22} &= E_3 + E_{\text{Э}4}; \end{aligned}$$

$$E_{33} = -E_2 - E_6.$$

Решая систему (1.3) при помощи определителей, определим токи I_{11} , I_{22} , I_{33} .

Токи в ветвях I_1 , I_4 , I_6 равны контурным токам:

$$I_1 = I_{11};$$

$$I_4 = -I_{22};$$

$$I_6 = I_{33}.$$

Токи в ветвях I_2 , I_3 , I_5 , общих для нескольких контуров равны алгебраической сумме контурных токов, протекающих по этим ветвям:

$$I_2 = -I_{11} + I_{33};$$

$$I_3 = I_{22} - I_{11};$$

$$I_5 = I_{22} - I_{33}.$$

1.3 Расчет токов электрической цепи методом узловых потенциалов

Определим узловые потенциалы для электрической цепи (рисунок 1.2). Рассчитаем проводимости каждой ветви:

$$g_1 = \frac{1}{R_1}; \quad g_2 = \frac{1}{R_2}; \quad g_3 = \frac{1}{R_3}; \quad g_4 = \frac{1}{R_4}; \quad g_5 = \frac{1}{R_5}; \quad g_6 = \frac{1}{R_6}.$$

Приравниваем к нулю потенциал любого узла, пусть $\varphi_4 = 0$. (если в схеме есть ветвь с нулевым сопротивлением, следует заземлить один из узлов прилегающих к этой ветви, тогда потенциал другого узла будет равен ЭДС этой ветви, взятой с соответствующим знаком).

Запишем уравнения для определения узловых потенциалов:

$$\left. \begin{aligned} g_{11}\varphi_1 - g_{12}\varphi_2 - g_{13}\varphi_3 &= \sum_1 Eg \\ -g_{21}\varphi_1 + g_{22}\varphi_2 - g_{23}\varphi_3 &= \sum_2 Eg \\ -g_{31}\varphi_1 - g_{32}\varphi_2 + g_{33}\varphi_3 &= \sum_3 Eg \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

g_{11} , g_{22} , g_{33} - собственная узловая проводимость, равна сумме проводимостей ветвей, присоединенных к данному узлу:

$$g_{11} = g_1 + g_2 + g_6;$$

$$g_{22} = g_2 + g_3 + g_5;$$

$$g_{33} = g_1 + g_3 + g_4,$$

$g_{12} = g_{21}$, $g_{13} = g_{31}$, $g_{23} = g_{32}$ - общая узловая проводимость, равна сумме проводимостей ветвей, соединяющих между собой рассматриваемые узлы:

$$g_{12} = g_{21} = g_2;$$

$$g_{13} = g_{31} = g_1;$$

$$g_{23} = g_{32} = g_3.$$

$\sum Eg$ - алгебраическая сумма произведений ЭДС на соответствующие проводимости для всех ветвей, присоединенных к рассматриваемому узлу. Если ЭДС направлена к рассматриваемому узлу, записывается знак «+», если ЭДС направлена от узла - знак «-»:

$$\sum_1 Eg = -E_1g_1 + E_2g_2 - E_6g_6 ;$$

$$\sum_2 Eg = -E_2g_2 - E_3g_3 ;$$

$$\sum_3 Eg = E_1g_1 + E_3g_3 - E_{\text{Э4}}g_4 .$$

Рассчитаем потенциалы $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ при помощи определителей. Токи в ветвях электрической цепи определим по закону Ома:

$$I_1 = \frac{\varphi_1 - \varphi_3 + E_1}{R_1} ;$$

$$I_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 - E_2}{R_2} ;$$

$$I_3 = \frac{\varphi_2 - \varphi_3 + E_3}{R_3} ;$$

$$I_4 = \frac{-\varphi_3 - E_{\text{Э4}}}{R_4} ;$$

$$I_4'' = I_4 - J_{T4} ;$$

$$I_5 = \frac{-\varphi_2}{R_5} ;$$

$$I_6 = \frac{-\varphi_1 - E_6}{R_6} .$$

1.4 Определение тока в одной из ветвей схемы электрической цепи, используя метод активного двухполюсника

Определим ток I_2 .

Заменим электрическую цепь, к которой присоединена выделенная ветвь с током I_2 эквивалентным источником с ЭДС E_X , равной напряжению на зажимах разомкнутой ветви U_{12X} , и сопротивлением R_B , равным входному сопротивлению электрической цепи относительно зажимов, к которым присоединена данная ветвь (рисунок 1.23).

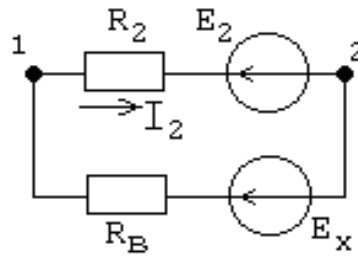


Рисунок 1.23

Ток I_2 рассчитаем по формуле:

$$I_2 = \frac{E_X - E_2}{R_e + R_2} \quad . \quad (1.5)$$

Рассчитаем $E_X = U_{12X}$. Разомкнем ветвь с током I_2 и определим U_{12X} :

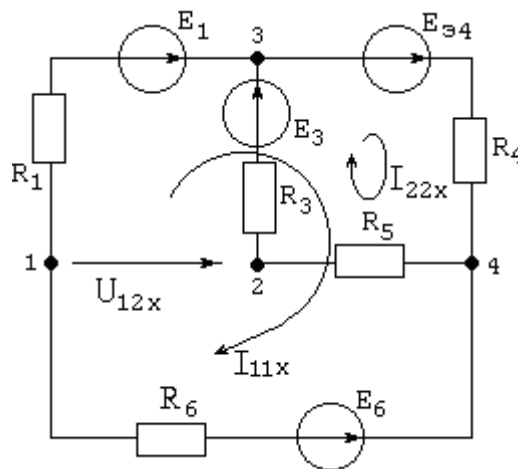


Рисунок 1.24

$$U_{12X} = -R_3 I_{22X} + E_3 - E_1 + R_1 I_{11X} \quad . \quad (1.6)$$

Определим I_{11X} , I_{22X} методом контурных токов:

$$\begin{cases} (R_1 + R_4 + R_6) I_{11X} + R_4 I_{22X} = E_1 + E_{\partial 4} - E_6; \\ R_4 I_{11X} + (R_3 + R_4 + R_5) I_{22X} = E_3 + E_{\partial 4}. \end{cases} \quad (1.7)$$

Определим сопротивление R_B . Положим ЭДС $E_1, E_3, E_{\partial 4}, E_6$, равными нулю (рисунок 1.25).

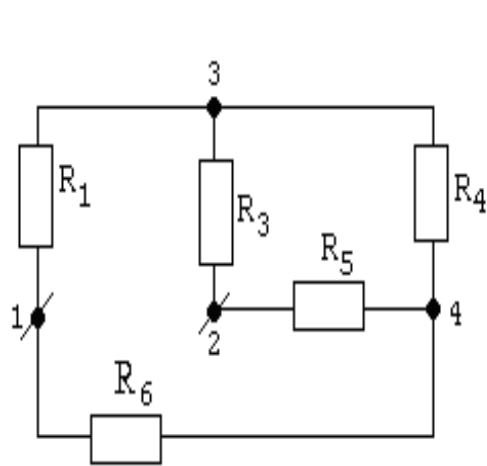


Рисунок 1.25

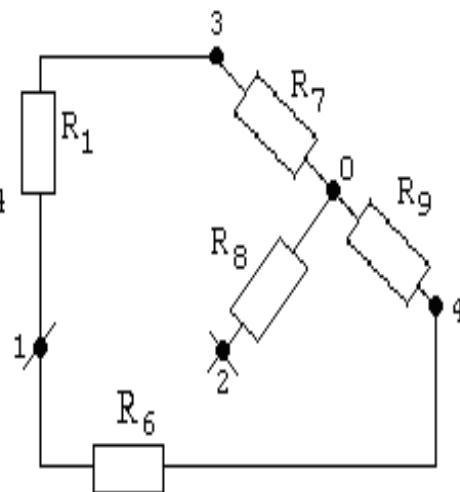


Рисунок 1.26

Преобразуем треугольник сопротивлений R_3 , R_4 , R_5 в эквивалентную звезду (рисунок 1.26):

$$R_7 = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4 + R_5};$$

$$R_8 = \frac{R_3 \cdot R_5}{R_3 + R_4 + R_5};$$

$$R_9 = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_3 + R_4 + R_5};$$
(1.8)

$$R_B = R_8 + \frac{(R_1 + R_7)(R_6 + R_9)}{R_1 + R_7 + R_6 + R_9}.$$
(1.9)

Ток I_2 будет равен:
$$I_2 = \frac{E_x - E_2}{R_B + R_2} = \frac{-8 - 20}{2,66 + 4}.$$
 (1.10)

2 Задание №2. Расчет электрических цепей однофазного синусоидального тока со смешанным соединением приемников

Цель работы: изучение и расчет электрических цепей однофазного синусоидального тока со смешанным соединением приемников.

Задание расчетно-графической работы № 2.

В электрической цепи со смешанным соединением приемников (рисунки 2.1-2.10) действует источник синусоидального напряжения $u = U \sin 2\pi ft$. Действующее значение напряжения U , частота f и параметры цепи приведены в таблицах 2.1, 2.2, 2.3.

Выполнить следующее:

а) рассчитать индуктивные X_L и емкостные X_C сопротивления, комплексные сопротивления каждой ветви и эквивалентное комплексное сопротивление всей цепи;

б) рассчитать комплексные действующие значения токов во всех ветвях и записать их мгновенные значения;

в) построить векторную диаграмму напряжений, совмещенную с векторной диаграммой токов

Таблица 2.1

Год поступления	Последняя цифра зачётной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Нечётный № рисунка	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Чётный № рисунка	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$U, В$	100	120	90	80	60	110	70	115	50	85
$R_1, Ом$	90	-	130	85	90	40	120	100	110	40
$R_2, Ом$	110	120	150	-	110	-	95	120	90	130
$R_3, Ом$	60	80	90	100	-	100	50	95	80	100

Таблица 2.2

Год поступления	Предпоследняя цифра зачётной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нечётный	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Чётный	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$f, Гц$	600	700	800	900	1000	700	900	600	1000	800
$L_1, мГн$	35	25	20	15	10	30	20	40	15	30
$L_2, мГн$	40	20	15	18	20	25	10	30	20	25
$L_3, мГн$	30	35	25	10	15	18	15	35	10	20

Таблица 2.3

Год поступления	Первая буква фамилии									
	АЯ	УЮ Ф	КХ	БЛЦ	ВМЧ	ТЭИ	ЖСЗ	ДО Щ	ЕПР	ГН Ш
Нечётный	АЯ	УЮ Ф	КХ	БЛЦ	ВМЧ	ТЭИ	ЖСЗ	ДО Щ	ЕПР	ГН Ш
Чётный	ГН Ш	АЯ	ЕПР	УЮ Ф	ДО Щ	КХ	БЛЦ	ЖСЗ	ТЭИ	ВМЧ
$C_1, мкФ$	2	3,5	3	1,5	2,8	2	2,2	2,5	1,8	1,5
$C_2, мкФ$	1,5	2,5	2	1,8	2	2,5	3,2	2	1,5	2,5
$C_3, мкФ$	2,5	2	1,5	2,5	3	3,5	1,5	2,8	2	3

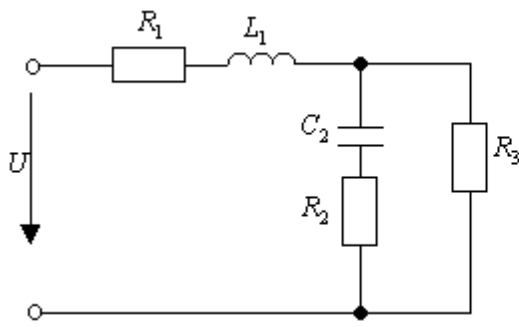


Рисунок 2.1

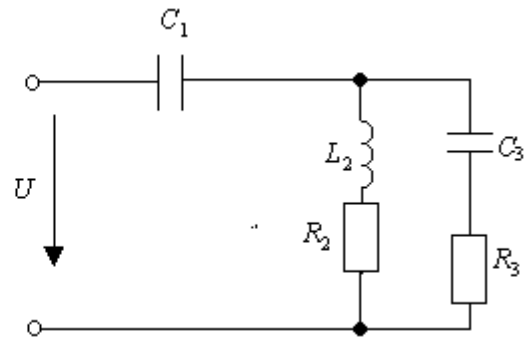


Рисунок 2.2

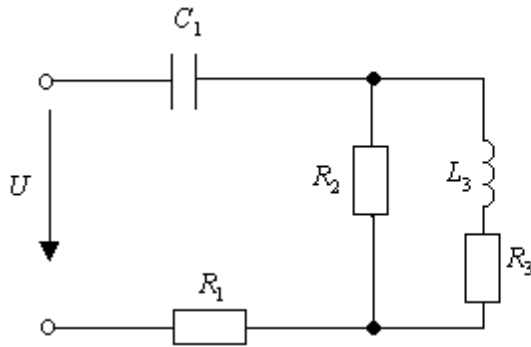


Рисунок 2.3

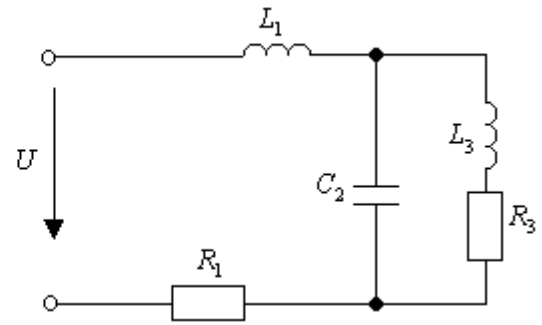


Рисунок 2.4

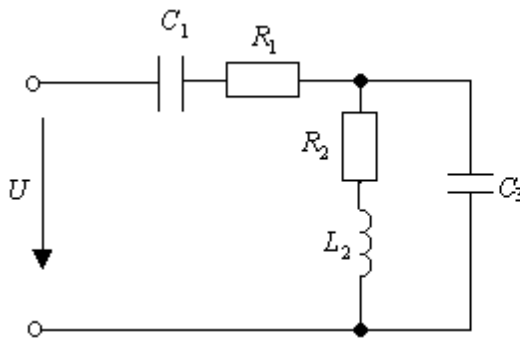


Рисунок 2.5

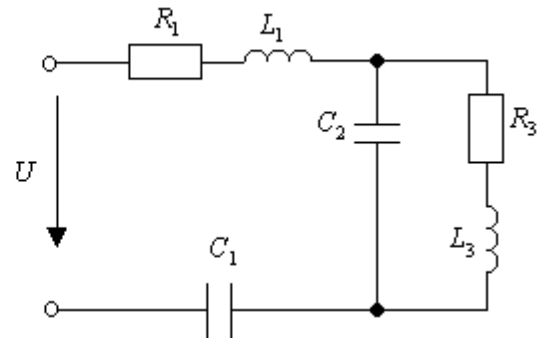


Рисунок 2.6

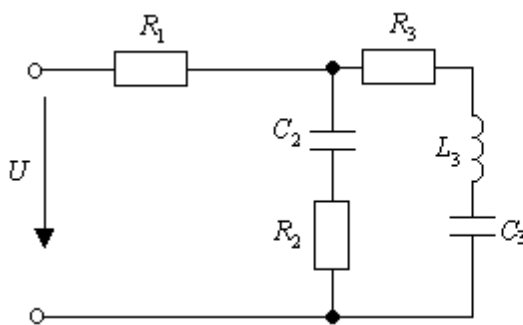


Рисунок 2.7

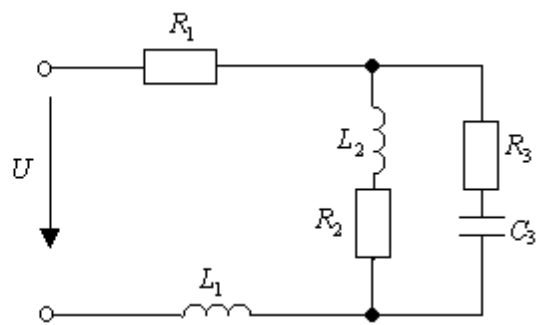


Рисунок 2.8

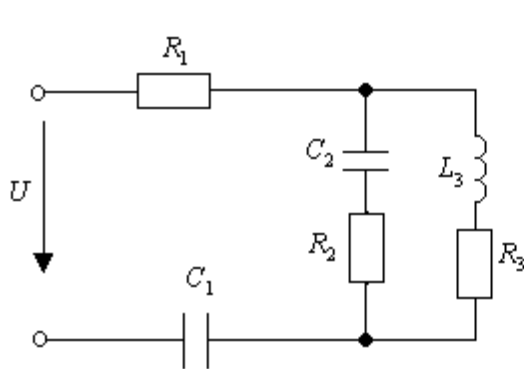


Рисунок 2.9

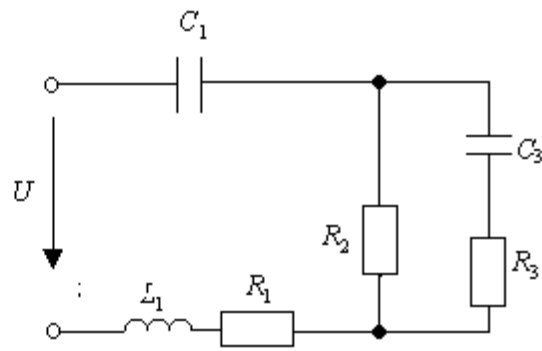


Рисунок 2.10

3 Задание № 3. Расчёт разветвлённых электрических цепей однофазного синусоидального тока

Цель работы: изучение методов расчета в символической (комплексной) форме разветвленных электрических цепей однофазного синусоидального тока.

Задание расчетно-графической работы № 3.

Для разветвлённой электрической цепи (рисунки 3.1-3.10) выполнить следующее:

- 1) Составить систему уравнений по законам Кирхгофа для мгновенных значений токов и напряжений и для комплексных величин.
- 2) Рассчитать комплексные действующие значения токов во всех ветвях двумя методами: методом контурных токов и методом узловых потенциалов.
- 3) Составить уравнение баланса мощностей в цепи и проверить точность его выполнения.
- 4) Построить топографическую диаграмму, совмещённую с векторной диаграммой токов.

Методические указания.

1. При расчёте методами контурных токов и узловых потенциалов схему можно упростить путём замены двух параллельных ветвей с пассивными элементами одной эквивалентной.

2. Баланс мощностей можно составить для комплексной, активной и реактивной мощностей. Для полных мощностей уравнение баланса не составляется.

3. При построении топографической диаграммы точку с нулевым потенциалом следует поместить в начало координат на комплексной плоскости и из этой же точки строить вектора токов.

Таблица 3.1

Год поступления	Последняя цифра студенческого билета									
Нечётный № рисунка	0 3.1	1 3.2	2 3.3	3 3.4	4 3.5	5 3.6	6 3.7	7 3.8	8 3.9	9 3.10
Чётный № рисунка	9 3.3	8 3.5	7 3.6	6 3.9	5 3.8	4 3.7	3 3.10	2 3.2	1 3.1	0 3.4
$E_1, В$	120	60	0	100	130	0	0	80	90	0
$\psi_{e_1}, \text{град.}$	30	90	0	45	0	0	0	0	60	0
$E_2, В$	0	40	80	0	70	120	110	100	0	130
$\psi_{e_2}, \text{град.}$	0	30	-90	0	-45	45	90	90	0	0
$E_3, В$	80	0	70	120	0	90	80	0	60	100
$\psi_{e_3}, \text{град.}$	-90	0	0	90	0	30	45	0	-30	45

Таблица 3.2

Год поступления	Предпоследняя цифра студенческого билета									
Нечётный	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Чётный	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_1, \text{Ом}$	15	16	8	25	45	15	12	15	50	15
$X_{L_1}, \text{Ом}$	10	25	8	40	30	40	15	10	35	10
$X_{C_1}, \text{Ом}$	20	10	7	20	40	20	30	8	40	20
$R_2, \text{Ом}$	18	45	18	8	30	18	15	18	18	15
$X_{L_2}, \text{Ом}$	15	15	10	10	25	20	10	10	25	8
$X_{C_2}, \text{Ом}$	30	10	6	12	15	25	5	15	12	6

Таблица 3.3

Год поступления	Первая буква фамилии									
Нечётный	БЛ Ц	КХ	ВМ Ч	ГН Ш	ДО Щ	ЕПР	ЖС З	ТЭ И	УЮ Ф	АЯ
Чётный	ГН Ш	ДО Щ	ЕП Р	ЖСЗ	ТЭИ	УЮ Ф	АЯ	БЛ Ц	КХ	ВМ Ч
$R_3, \text{Ом}$	20	25	18	16	20	35	15	20	10	35
$X_{L_3}, \text{Ом}$	9	10	6	20	10	15	12	10	8	10
$X_{C_3}, \text{Ом}$	12	20	10	15	8	30	20	15	6	20

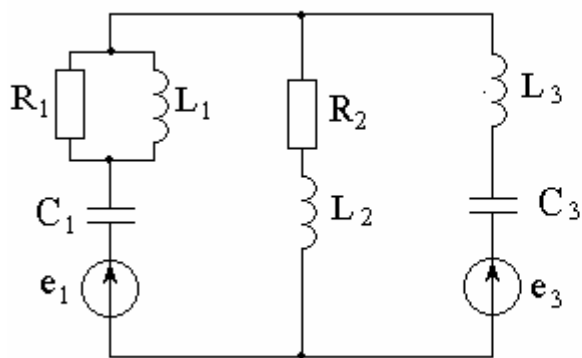


Рисунок 3.1

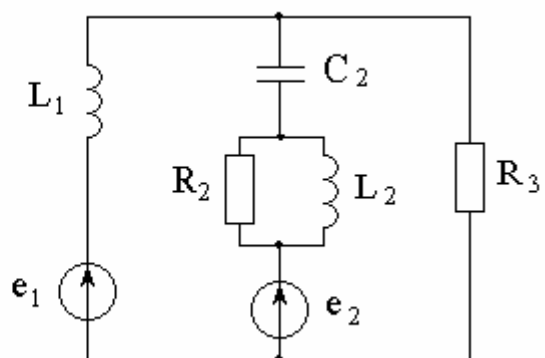


Рисунок 3.2

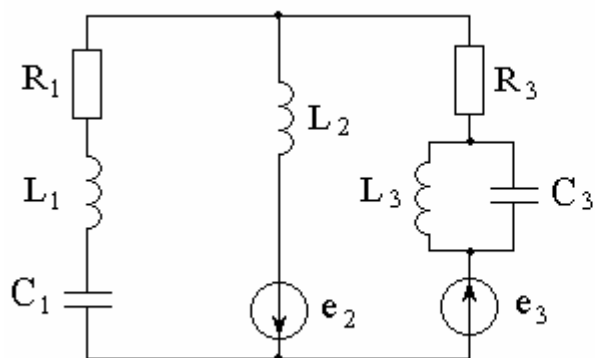


Рисунок 3.3

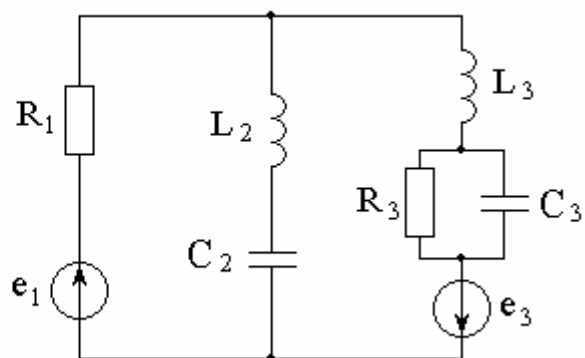


Рисунок 3.4

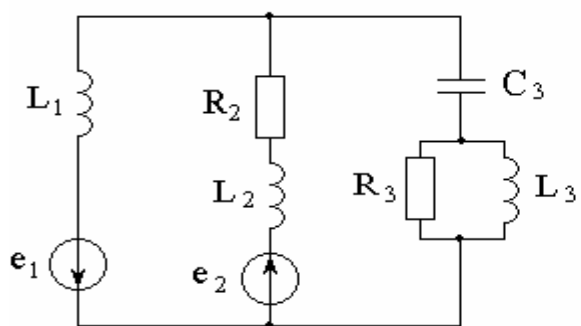


Рисунок 3.5

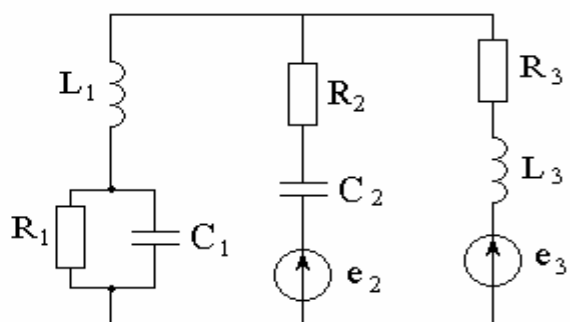


Рисунок 3.6

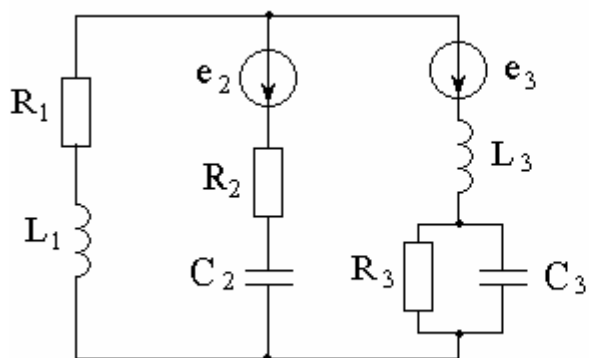


Рисунок 3.7

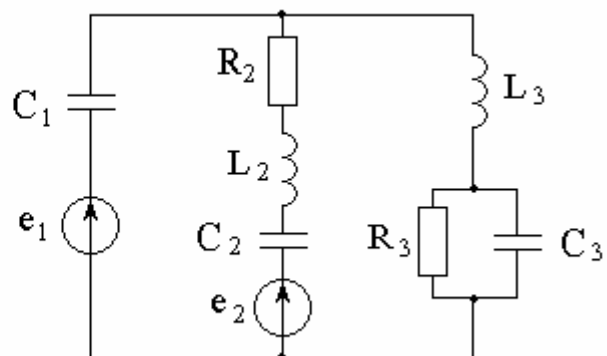


Рисунок 3.8

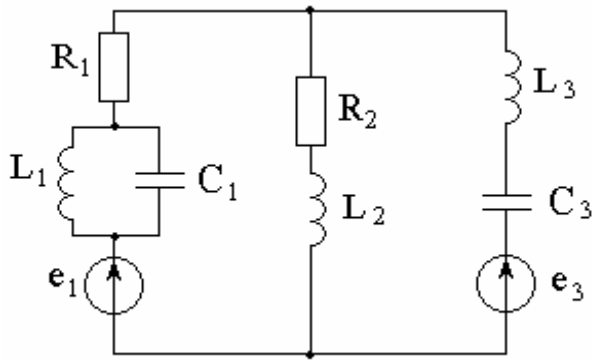


Рисунок 3.9

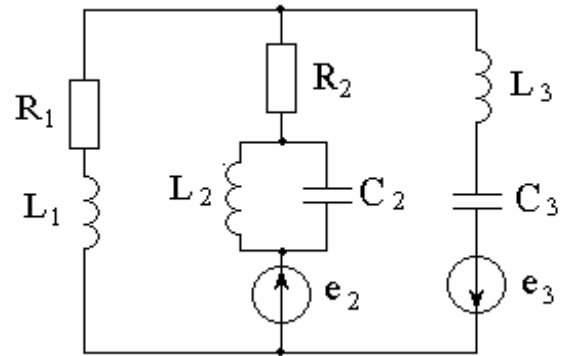


Рисунок 3.10

Методические указания.

Расчет разветвленных цепей однофазного синусоидального тока рассмотрим на примере схемы, представленной на рисунке 3.11.

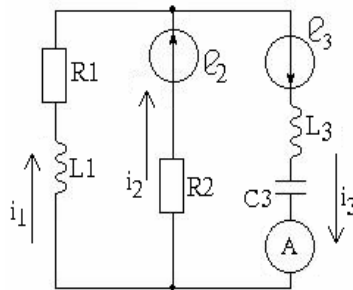


Рисунок 3.11

3.1 Составление уравнений для расчета токов во всех ветвях схемы на основании законов Кирхгофа, используя две формы записи: дифференциальную и символическую

Произвольно выбираем направление токов в ветвях (рисунок 3.11). Составим уравнения в дифференциальной форме, т.е. для мгновенных значений токов и напряжений. В соответствии с первым законом Кирхгофа алгебраическая сумма мгновенных токов ветвей, сходящихся в узле, равна нулю. В схеме два узла, поэтому по первому закону Кирхгофа составим одно уравнение. По второму закону Кирхгофа алгебраическая сумма мгновенных ЭДС всех источников напряжения в замкнутом контуре схемы равна алгебраической сумме мгновенных напряжений на всех остальных элементах того же контура. В схеме два независимых контура, поэтому составляется два уравнения по второму закону Кирхгофа. Таким образом, получаем систему уравнений, составленных по законам Кирхгофа, в дифференциальной форме:

$$\begin{cases} i_1 + i_2 - i_3 = 0 \\ R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - R_2 i_2 = -e_2 \\ R_2 i_2 + L_3 \frac{di_3}{dt} + \frac{1}{C_3} \int i_3 dt = e_2 + e_3. \end{cases} \quad (3.1)$$

Для записи уравнений в символической форме необходимо мгновенные значения токов, ЭДС и напряжений заменить изображающими комплексами.

Тогда получим систему уравнений по законам Кирхгофа в символической форме:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0 \\ (R_1 + jX_{L1})\dot{I}_1 - R_2 \dot{I}_2 = -\dot{E}_2 \\ R_2 \dot{I}_2 + (jX_{L3} - jX_{C3})\dot{I}_3 = \dot{E}_2 + \dot{E}_3. \end{cases} \quad (3.2)$$

Решение полученной системы уравнений позволяет определить комплексные действующие значения токов в ветвях. Более эффективно эта задача может быть решена с использованием методов контурных токов и узловых потенциалов.

3.2 Расчет комплексных токов методом контурных токов

Выберем направления контурных токов \dot{I}_{11} и \dot{I}_{22} по часовой стрелке и составим уравнения по второму закону Кирхгофа для этих токов (рисунок 3.12).

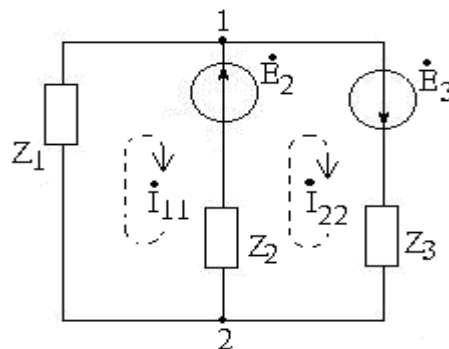


Рисунок 3.12

$$\begin{cases} (Z_1 + Z_2)\dot{I}_{11} - Z_2 \dot{I}_{22} = -\dot{E}_2 \\ -Z_2 \dot{I}_{11} + (Z_2 + Z_3)\dot{I}_{22} = \dot{E}_2 + \dot{E}_3, \end{cases} \quad (3.3)$$

где через Z_1 , Z_2 , Z_3 обозначены комплексные сопротивления соответствующих ветвей;

$$Z_1 = R_1 + jX_{L1}; Z_2 = R_2; Z_3 = j(X_{L3} - X_{C3}).$$

\dot{E}_2 и \dot{E}_3 представляют собой комплексные действующие значения ЭДС. Определяем комплексы токов ветвей через найденные комплексы контурных токов при направлениях токов, принятых на рисунке 3.11:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I}_{11}; \\ \dot{I}_2 &= \dot{I}_{22} - \dot{I}_{11}; \\ \dot{I}_3 &= \dot{I}_{22}. \end{aligned}$$

3.3 Расчет комплексов токов методом узловых потенциалов

В схеме (рисунок 3.12) два узла, поэтому целесообразно применить метод двух узлов, являющийся частным случаем метода узловых потенциалов. Рассчитываем комплекс напряжения между узлами:

$$\dot{U}_{12} = \frac{\dot{E}_2 Y_2 - \dot{E}_3 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3},$$

где $Y_1 = \frac{1}{Z_1}; Y_2 = \frac{1}{Z_2}; Y_3 = \frac{1}{Z_3}.$

Комплексы токов в ветвях рассчитываем по закону Ома:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{-\dot{U}_{12}}{Z_1}; \\ \dot{I}_2 &= \frac{\dot{E}_2 - \dot{U}_{12}}{Z_2}; \\ \dot{I}_3 &= \frac{\dot{E}_3 + \dot{U}_{12}}{Z_3}. \end{aligned}$$

3.4 Баланс мощностей

Уравнение баланса комплексных мощностей:

$$\sum_{K=1}^n \tilde{S}_{ИСТ_K} = \sum_{K=1}^n \tilde{S}_{ПОТР_K}. \quad (3.4)$$

Комплексная мощность источника ЭДС:

$$\tilde{S}_{ИСТ_K} = \pm \dot{E}_K I_K^*, \quad (3.5)$$

где I^* - комплекс, сопряженный с комплексным током I .

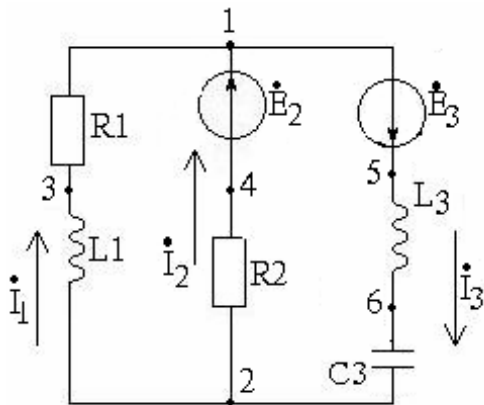
Комплексная мощность потребителя:

$$\tilde{S}_{ПОТР_K} = Z_K I_K^2. \quad (3.6)$$

3.5 Топографическая диаграмма, совмещённая с векторной диаграммой токов

Для построения топографической диаграммы необходимо рассчитать комплексные потенциалы точек цепи, а затем нанести полученные значения

на комплексную плоскость. Примем потенциал точки 2, равным нулю, $\dot{\phi}_2 = 0$, и выразим комплексные потенциалы всех остальных точек цепи:



$$\begin{aligned}\dot{\phi}_3 &= \dot{\phi}_2 - jX_{L1}\dot{I}_1 \\ \dot{\phi}_1 &= \dot{\phi}_3 - R_1\dot{I}_1; \\ \dot{\phi}_4 &= \dot{\phi}_1 - \dot{E}_2; \\ \dot{\phi}_6 &= \dot{\phi}_2 + (-jX_{C3}\dot{I}_3); \\ \dot{\phi}_5 &= \dot{\phi}_6 - jX_{L3}\dot{I}_3.\end{aligned}$$

Рисунок 3.13

Точку 2, потенциал которой принят равным нулю, помещаем в начало координат. Затем строим вектора, изображающие потенциалы остальных точек цепи. Например, потенциал точки 3. Проводим из начала координат отрезок прямой под углом, равным аргументу комплексного потенциала этой точки, относительно положительной полуоси действительных чисел, и в выбранном масштабе откладываем по этому отрезку величину потенциала точки 3. Получаем местоположение точки 3 на топографической диаграмме. Построив аналогично местоположение остальных точек цепи, соединяем их отрезками прямых в соответствии с их положением на схеме рисунка 3.13.

4 Задание №4. Расчет симметричных и несимметричных режимов в трехфазных цепях со статической нагрузкой

Цель работы: изучение, расчет симметричных и аварийных режимов трехфазных цепей.

Задание расчетно-графической работы № 4.

К симметричному трехфазному генератору с фазной ЭДС E_ϕ подключена симметричная нагрузка, соединенная звездой с нейтральным проводом (рисунки 4.1-4.10). Значения фазных ЭДС генератора и параметров цепи приведены в таблицах 4.1, 4.2, 4.3.

Выполнить следующее.

В соответствии с заданным вариантом рассчитать: токи в линейных проводах и в фазах приёмников; фазные напряжения приёмников; активную, реактивную, полную мощности; построить векторные диаграммы для двух режимов работы трёхфазной цепи:

1) Симметричный режим.

2) Обрыв одного из линейных проводов (в соответствии с таблицей 4.2)

Частота фазных ЭДС генератора $f = 50 \text{ Гц}$.

Таблица 4.1

Год поступления	Последняя цифра студенческого билета									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Четный № схемы	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10
Нечетный № схемы	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10
$R_1, Ом$	20	15	10	22	13	12	8	14	16	9
$L_1, мГц$	-	-	50	90	-	-	40	60	-	45
$R_2, Ом$	35	-	-	45	65	-	-	55	25	45
$L_2, мГц$	40	30	60	50	-	-	-	-	70	90
$C_2, мкФ$	-	-	-	-	-	80	90	95	-	85
$R_3, Ом$	-	20	25	-	80	30	40	35	45	70
$L_3, мГц$	-	-	-	-	-	100	50	80	-	-
$C_3, мкФ$	60	70	50	40	50	-	-	-	60	-

Таблица 4.2

Год поступления	Предпоследняя цифра студенческого билета									
	0	2	4	6	8	1	3	5	7	9
Четный	9	7	5	3	1	8	6	4	2	0
Нечетный	9	7	5	3	1	8	6	4	2	0
обрыв линии	А	В	С	А	В	С	А	В	С	А

Таблица 4.3

Год поступления	Первая буква фамилии									
	АЛХ	БМЦ	ВНЧ	ГОШ	ДПЦ	ЕРЭ	ЖСЮ	ЗТЯ	ИУ	КФ
Четный	КФ	ИУ	ЗТЯ	ЖСЮ	ЕРЭ	ДПЦ	ГОШ	ВНЧ	БМЦ	АЛХ
Нечетный	КФ	ИУ	ЗТЯ	ЖСЮ	ЕРЭ	ДПЦ	ГОШ	ВНЧ	БМЦ	АЛХ
$R_N, Ом$	3	5	2,5	2	5,5	1,5	4	6	3,5	4,5
$E_\phi, В$	220	270	100	360	127	120	60	110	380	200

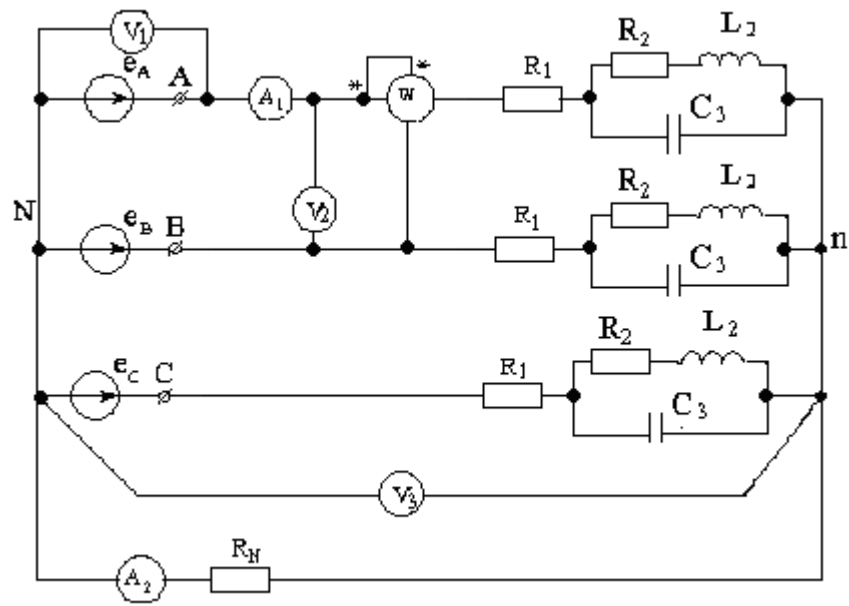


Рисунок 4.1

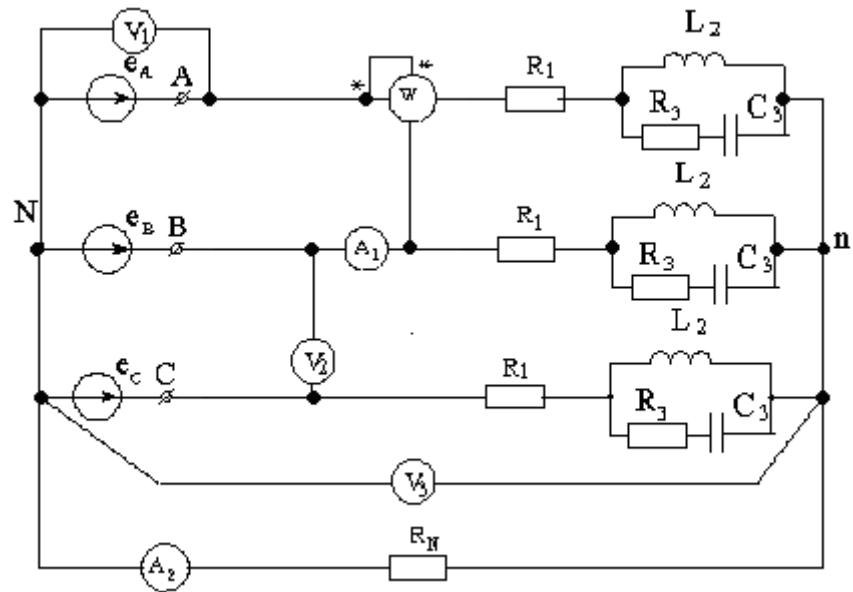


Рисунок 4.2

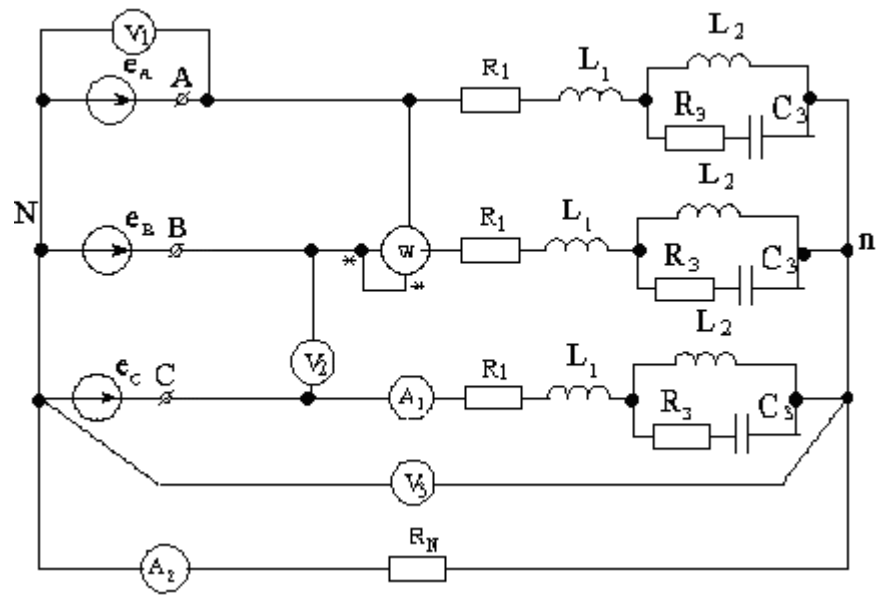


Рисунок 4.3

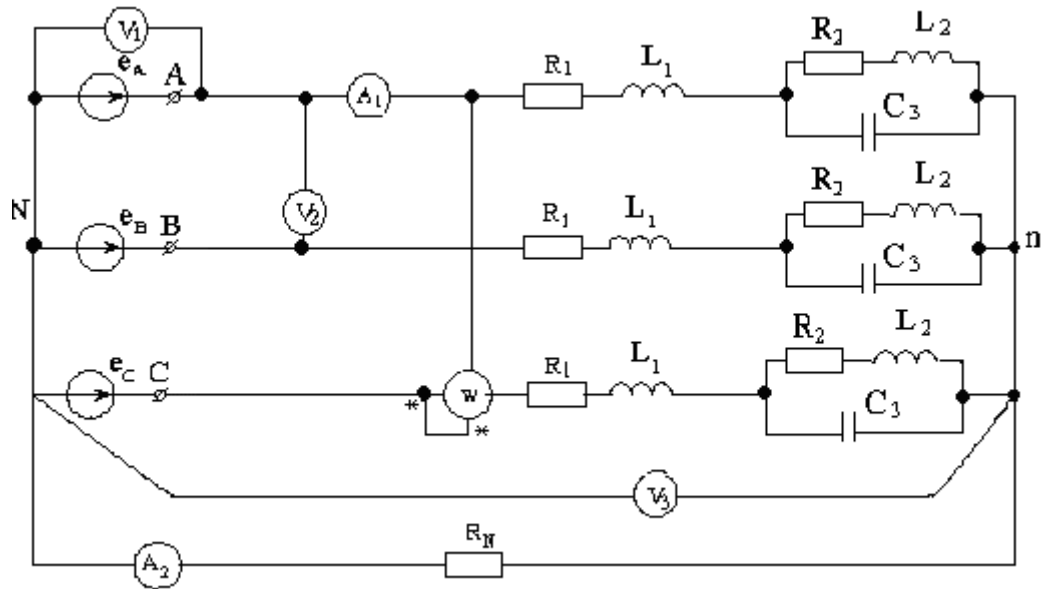


Рисунок 4.4

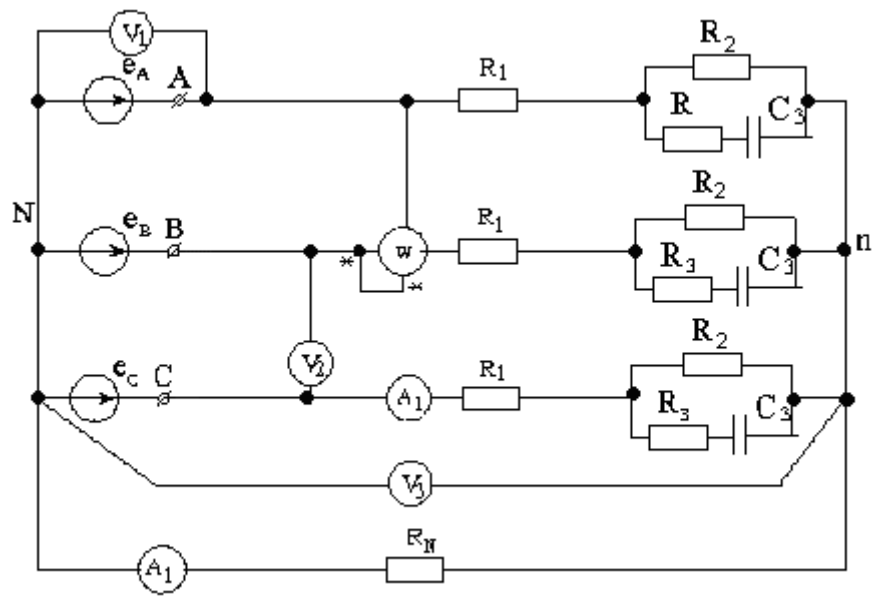


Рисунок 4.5

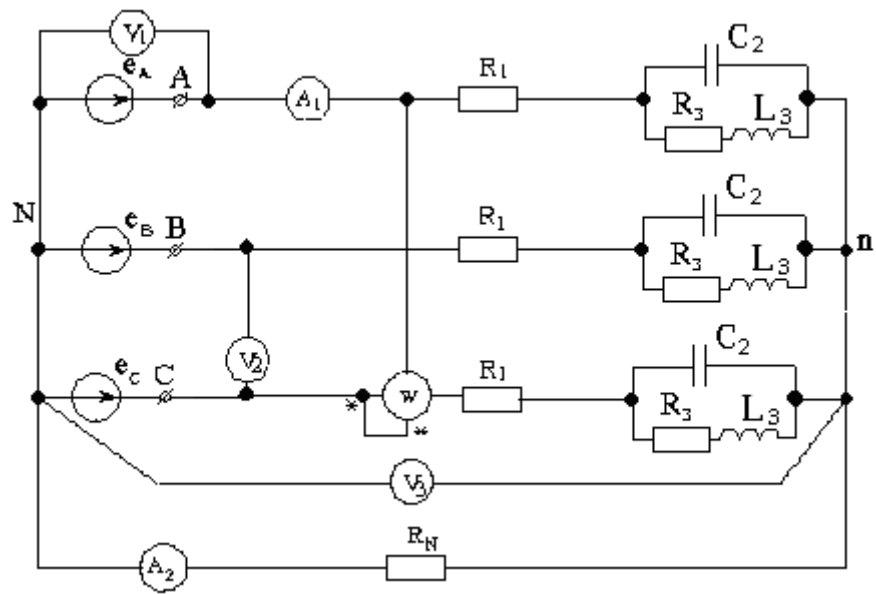


Рисунок 4.6

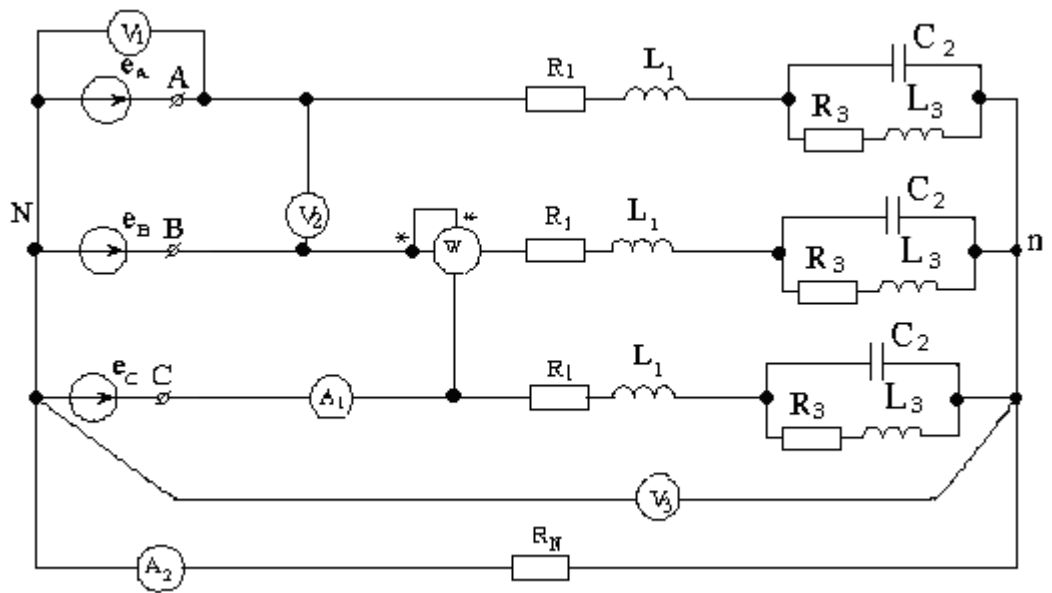


Рисунок 4.7

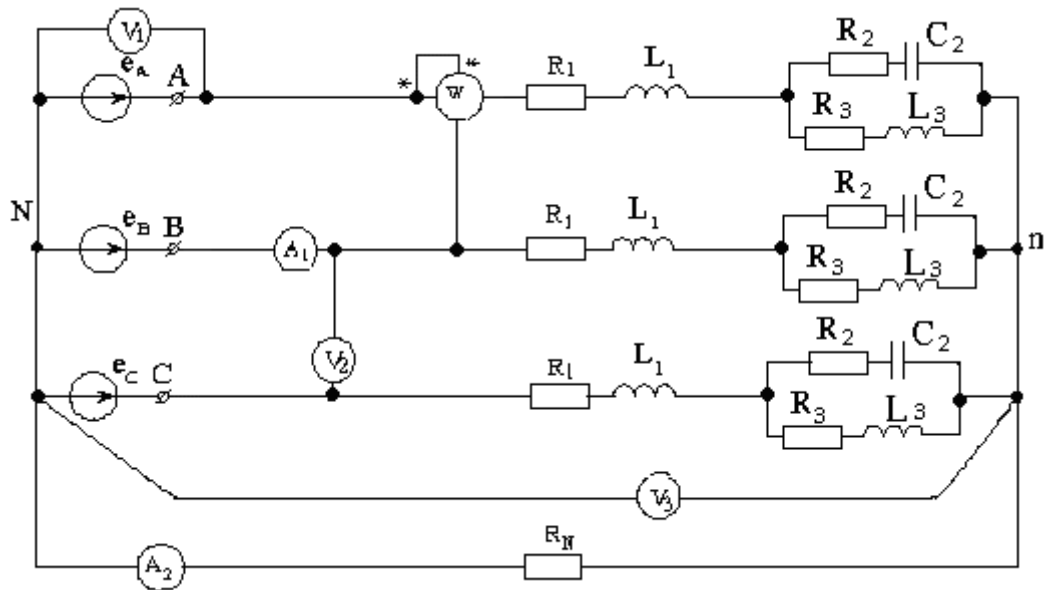


Рисунок 4.8

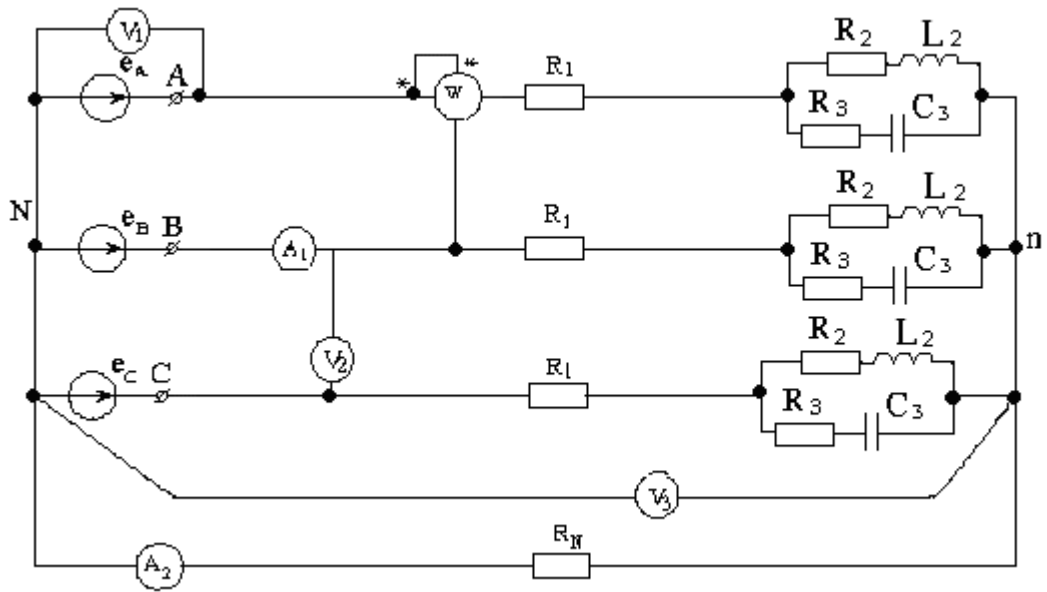


Рисунок 4.9

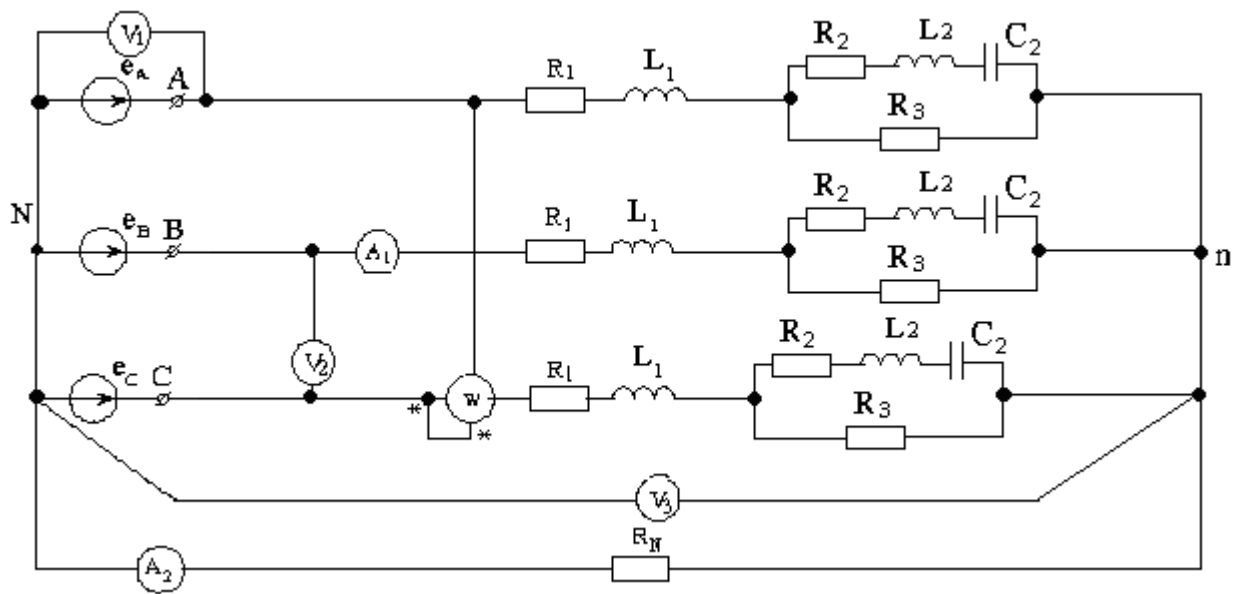


Рисунок 4.10

Методические указания.

Рассмотрим симметричную трехфазную цепь (рисунок 4.11).

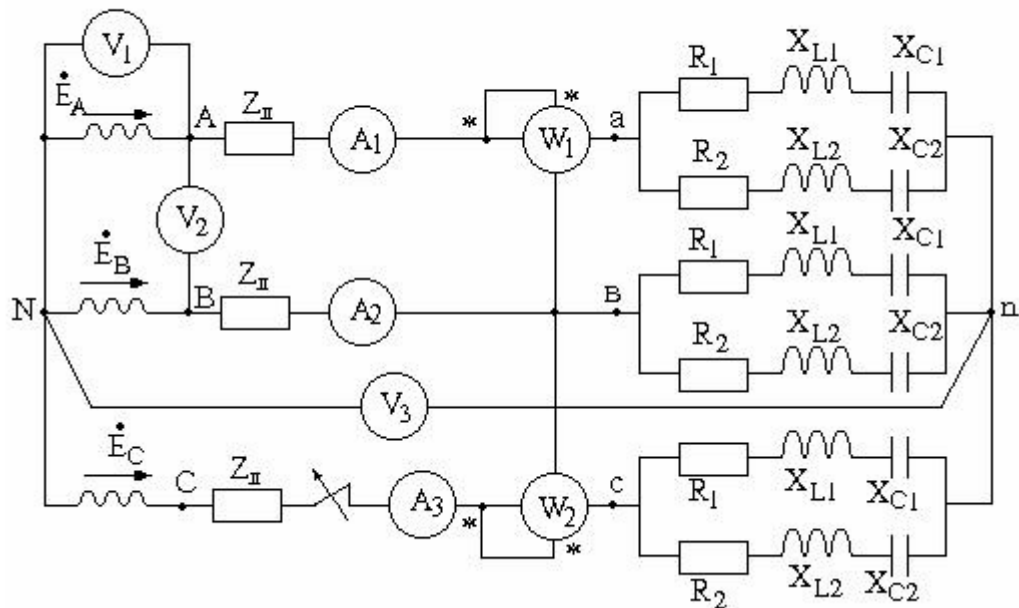


Рисунок 4.11

4.1 Расчет симметричного режима

Рассчитываем комплексное сопротивление фазы нагрузки:

$$Z_H = \frac{(R_1 + jX_{L1} - jX_{C1})(R_2 + jX_{L2} - jX_{C2})}{(R_1 + jX_{L1} - jX_{C1} + R_2 + jX_{L2} - jX_{C2})}.$$

Комплексное сопротивление фазы цепи: $Z = Z_{II} + Z_H$.

Комплексный ток фазы А: $i_A = \frac{\dot{E}_A}{Z}$.

В симметричном режиме токи образуют симметричную трехфазную систему токов, поэтому ток в фазе В отстает, а ток в фазе С опережает по фазе ток фазы А на 120° : $i_B = i_A e^{-j120^\circ}$; $i_C = i_A e^{j120^\circ}$.

Показания приборов.

Вольтметр V_1 измеряет действующее значение фазного напряжения генератора, которое равно 220 В, т.е. действующему значению фазной ЭДС генератора.

Вольтметр V_2 измеряет линейное напряжение генератора, которое в симметричном режиме в $\sqrt{3}$ раз больше фазного, т.е. $U_{II} = \sqrt{3}U_\phi = 381$ В.

Вольтметр V_3 измеряет действующее значение напряжения между нейтральными точками генератора и нагрузки, т.е. напряжение U_{nN} , которое в симметричном режиме равно нулю.

Амперметры A_1 , A_2 , A_3 измеряют действующее значение соответствующего тока фазы. В симметричном режиме токи фаз одинаковы

по величине, поэтому все амперметры дают одинаковые показания, равные действующему значению комплексного тока, т.е. величину 4,14 А.

Показание ваттметра W_1 определяется следующим выражением:

$$P_{W1} = U_{ae} I_A \cdot \cos(\dot{U}_{ae} \wedge \dot{I}_A), \quad (4.1)$$

где \dot{U}_{ae} - линейное напряжение, приложенное к зажимам обмотки напряжения ваттметра W_1 ;

\dot{I}_A - ток, протекающий по токовой обмотке ваттметра.

Показание ваттметра W_2 определяется аналогично:

$$P_{W2} = U_{ce} I_C \cdot \cos(\dot{U}_{ce} \wedge \dot{I}_C). \quad (4.2)$$

Линейные напряжения на нагрузке \dot{U}_{ae} и \dot{U}_{ce} могут быть выражены через фазные напряжения на нагрузке:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{ae} &= \dot{U}_{an} - \dot{U}_{en} = Z_H \dot{I}_A - Z_H \dot{I}_B = Z_H (\dot{I}_A - \dot{I}_B) = \sqrt{3} \dot{U}_{an} e^{j30^\circ}; \\ \dot{U}_{ce} &= \dot{U}_{cn} - \dot{U}_{en} = Z_H \dot{I}_C - Z_H \dot{I}_B = Z_H (\dot{I}_C - \dot{I}_B) = \sqrt{3} \dot{U}_{cn} e^{j90^\circ}. \end{aligned}$$

Векторная диаграмма напряжений и токов представлена на рисунке 4.12. На ней представлены фазные ЭДС (или напряжения) $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$, линейные напряжения генератора $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{CB}, \dot{U}_{CA}$, токи фаз $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$.

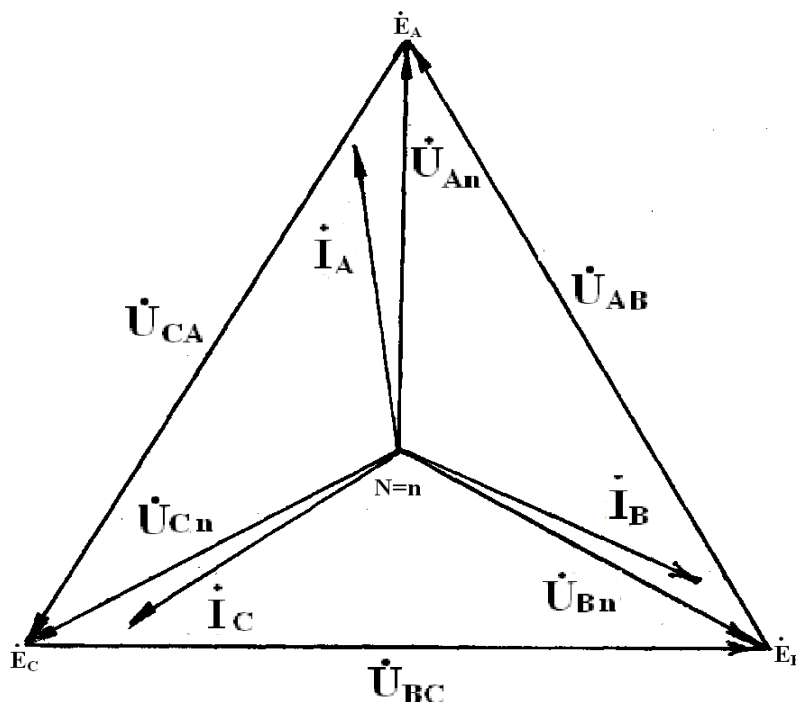


Рисунок 4.12

4.2 Расчет аварийного режима при обрыве фазы С

При обрыве фазы С между нейтральными точками генератора и нагрузки возникает напряжение, определяемое следующим выражением:

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{E}_A Y_A + \dot{E}_B Y_B}{Y_A + Y_B}. \quad (4.3)$$

Комплексные проводимости фаз $Y_A=Y_B=Y$, поэтому выражение (4.3) принимает следующий вид:

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{E}_A + \dot{E}_B}{2}.$$

Токи в фазах А и В находим по закону Ома:

$$\dot{i}_A = \frac{\dot{E}_A - \dot{U}_{nN}}{Z};$$

$$\dot{i}_B = \frac{\dot{E}_B - \dot{U}_{nN}}{Z};$$

$$\dot{i}_C = 0.$$

Показания вольтметров V_1 и V_2 остаются такими же, как в симметричном режиме. Показания вольтметра V_3 равны действующему значению напряжения \dot{U}_{nN} . Амперметры A_1 и A_2 показывают действующее значение тока в фазах А и В. Показание ваттметра W_1 определяется по выражению (4.1), где $\dot{U}_{av} = \dot{U}_{an} - \dot{U}_{en} = Z_H (\dot{i}_A - \dot{i}_B)$.

Диаграмма токов и напряжений представлена на рисунке 4.13.

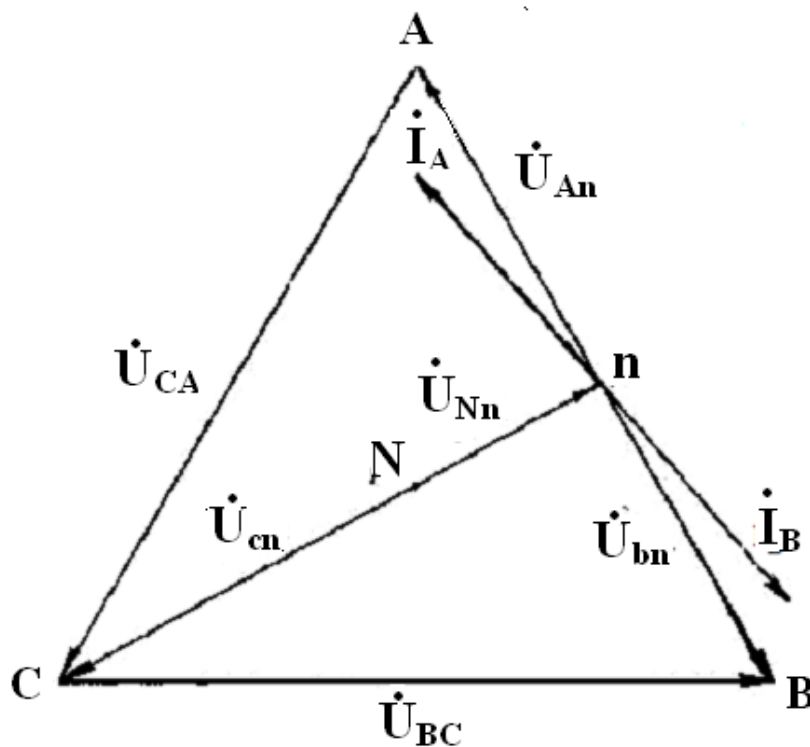


Рисунок 4.13

Нейтральная точка нагрузки n смещена относительно нейтральной точки генератора на величину \dot{U}_{nN} и расположена на середине вектора линейного напряжения \dot{U}_{AB} . Следовательно, фазные напряжения U_{An} , U_{Bn} уменьшаются в $\sqrt{3}/2$ раз по сравнению с симметричным режимом.

Список литературы

Основная

- 1 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники.-М.: Гардарики, 2013. – 638 с.
- 2 Аршидинов М.М., Денисенко В.И., Болдырева Л.П. ТОЭ: Учебное пособие. - Алматы: АУЭС, 2016. - 98 с.
- 3 Денисенко В.И., Креслина С.Ю. Теоретические основы электротехники 1. Конспект лекции (для студентов всех форм обучения специальности 050718 – Электроэнергетика).- Алматы: АИЭС, 2006. – 63 с.
- 4 Денисенко В.И., Креслина С.Ю. Теоретические основы электротехники 2. Конспект лекции для студентов всех форм обучения специальности 050718 – Электроэнергетика.- Алматы: АИЭС, 2007. – 62 с.

Дополнительная

- 5 ТОЭ т.1/под ред. Демирчян К.С. и др.-СПб., 2006.- 443 с.
- 6 ТОЭ т.2/под ред. Демирчян К.С. и др.-СПб., 2006.- 570 с.
- 7 Коровкин Н.В. ТОЭ. Сборник задач.-СПб., 2006. -512 с.
- 8 Сборник задач по теоретическим основам электротехники/ Л.Д. Бессонов, И.Г. Демидова, М.Е. Заруди и др.-Москва: Высшая школа, 2003.

Болдырева Любовь Павловна
Смагулова Гульдана Кашкинбаевна

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ
Методические указания и задания
к расчетно-графическим работам № 1- 4 для специальности
5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства

Редактор Н.М. Голева
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать _____
Тираж 50 экз.
Объем 2,2 уч. - изд. л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ ____ Цена 1100 тенге.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, Байтурсынова, 126