



Федеральное агентство по рыболовству  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор института

Фонд оценочных средств  
(приложение к рабочей программе модуля)  
**«МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»**

основной профессиональной образовательной программы бакалавриата  
по направлению подготовки  
**13.03.02 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

ИНСТИТУТ

морских технологий, энергетики и строительства

РАЗРАБОТЧИК

кафедра энергетики

## 1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ, ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

### 1.1 Результаты освоения дисциплины

Таблица 1.1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенций

Код и наименование компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями
<p>ОПК-2 Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения</p> <p>ОПК-3 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач</p>	Моделирование в электроэнергетике	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- базовые принципы построения математических моделей электроэнергетических систем и их элементов;</li> <li>- методы составления схем замещения электроэнергетических систем и систем уравнений, описывающих процессы в этих системах;</li> <li>- современные программные средства для разработки и анализа моделей электроэнергетических систем и их элементов;</li> </ul> <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- составлять схемы замещения электроэнергетических систем и находить решения систем уравнений, описывающих процессы в этих схемах;</li> <li>- практически применять математический аппарат при моделировании и исследовании электроэнергетических систем;</li> </ul> <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современными программными средствами для разработки и анализа моделей электроэнергетических систем и их элементов;</li> <li>- методами расчета установившихся режимов электроэнергетических систем.</li> </ul>

1.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания открытого и закрытого типов;
- задания к расчетно-графической работе (для очной и заочной форм обучения).

К оценочным средствам для промежуточной аттестации относятся:

- экзаменационные задания по дисциплине, представленные в виде тестовых заданий открытого и закрытого типов.

## 1.3 Критерии оценки результатов освоения дисциплины

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) 100 – балльную/процентную систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	<b>0-40%</b>	<b>41-60%</b>	<b>61-80 %</b>	<b>81-100 %</b>
	<b>«неудовлетворительно»</b>	<b>«удовлетворительно»</b>	<b>«хорошо»</b>	<b>«отлично»</b>
<b>1 Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может корректно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2 Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3 Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
<b>4 Освоение стандартных</b>	В состоянии решать только фрагменты	В состоянии решать поставлен-	В состоянии решать постав-	Не только владеет

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
<b>алгоритмов решения профессиональных задач</b>	поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	ные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	ленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

1.4 Оценивание тестовых заданий открытого и закрытого типа осуществляется по системе зачтено/ не зачтено («зачтено» – 41-100% правильных ответов; «не зачтено» – менее 40 % правильных ответов) или пятибалльной системе (оценка «неудовлетворительно» - менее 40 % правильных ответов; оценка «удовлетворительно» - от 41 до 60 % правильных ответов; оценка «хорошо» - от 61 до 80% правильных ответов; оценка «отлично» - от 81 до 100 % правильных ответов). Для заданий открытого типа оценивается верность ответа по существу вопроса, при этом не учитывается порядок слов в словосочетании, верность окончаний, падежи.

## 2 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

ОПК-2: Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения;

ОПК-3: Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

### Тестовые задания открытого типа

1. Вид моделирования, имеющий своей целью решение уравнений и возможно только при наличии уравнений, составленных на основе определенных допущений и преобразований к удобному для решения - \_\_\_\_\_

**Ответ: Математическое (моделирование)**

2. Вид модели, построенной на основе теории подобия, при котором некоторые аспекты функционирования реального объекта не моделируются \_\_\_\_\_

**Ответ: Приближенная**

3. Замена реального объекта или процесса каким-либо формальным представлением – это \_\_\_\_\_

**Ответ: Формализация**

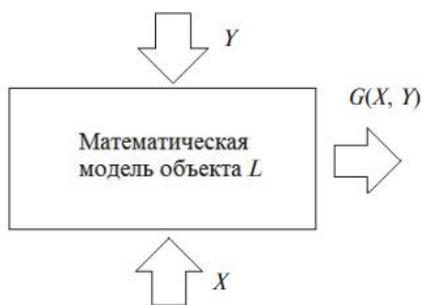
4. Основные 4 этапа моделирования: \_\_\_\_\_

**Ответ: 1. Постановка задачи; 2. Формализация задачи; 3. Моделирование; 4. Интерпретация результатов.**

5. Математическая модель, описывающая реальный объект, процесс или явление, должна отвечать ряду требований: \_\_\_\_\_

**Ответ: 1. Адекватность; 2. Полнота; 3. Гибкость; 4. Трудоемкость разработки должна быть приемлемой для имеющегося времени и программных средств.**

6. Элементами обобщенной математической модели, согласно рисунку, являются:



**Ответ: множество входных данных (переменные)  $X, Y$ ; математический оператор  $L$ , определяющий операции над переменными; множество выходных данных (переменных)  $G(X, Y)$ .**

7. Метод в имитационном моделировании, который применяется для моделирования случайных величин и функций, вероятностные характеристики которых совпадают с решениями аналитических задач и который состоит в многократном воспроизведении процессов, являющихся реализациями случайных величин и функций, с последующей обработкой информации методами математической статистики, называется \_\_\_\_\_

**Ответ: Метод Монте-Карло**

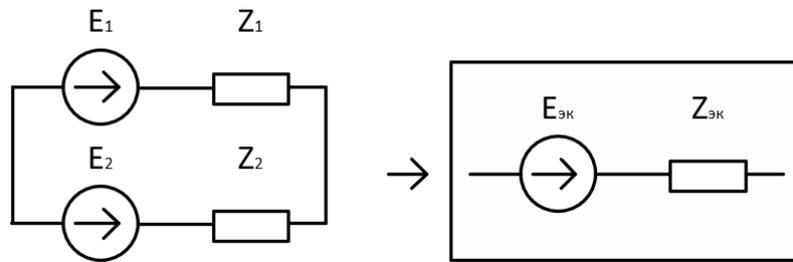
8. Состояние системы, при котором ток в любой ветви и напряжение в любом узле остаются неизменными в течение достаточно длительного времени, называется \_\_\_\_\_

**Ответ: Установившийся режим**

9. Установившийся режим работы энергосистемы, который наступает в связи с аварийным отключением ряда элементов или какого-либо отдельно взятого элемента системы, называется \_\_\_\_\_

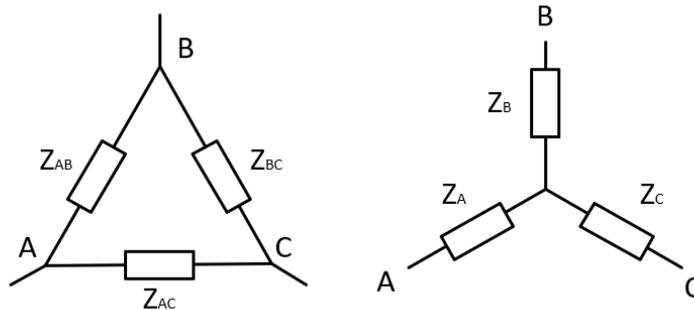
**Ответ: Послеаварийный режим**

10. Если  $E_1 = 10$  В,  $E_2 = 15$  В,  $Z_1 = 4$  Ом,  $Z_2 = 6$  Ом, тогда  $E_{\text{экв}}$ ,  $Z_{\text{экв}}$  равны \_\_\_\_\_



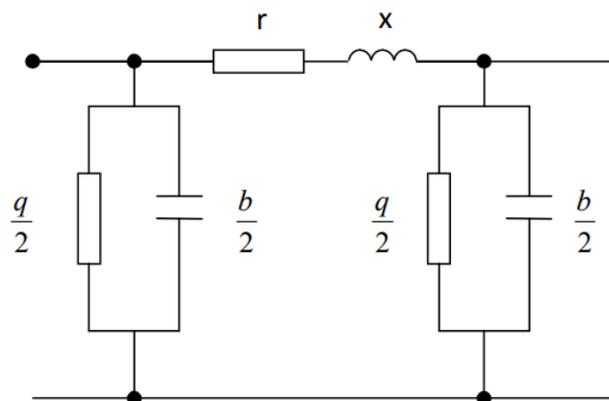
**Ответ:**  $E_{экв} = 12 \text{ В}; Z_{экв} = 2,4 \text{ Ом}$

10. Если  $Z_{AB} = 10 \text{ Ом}; Z_{AC} = 3 \text{ Ом}; Z_{BC} = 7 \text{ Ом}$ , тогда  $Z_A, Z_B, Z_C$  равны \_\_\_\_\_



**Ответ:**  $Z_a = 1,5 \text{ Ом}; Z_b = 3,5 \text{ Ом}, Z_c = 1,05 \text{ Ом}$

11. Представленная на рисунке схема замещения является П-образной схемой замещения



**Ответ:** Линии электропередачи (ЛЭП)

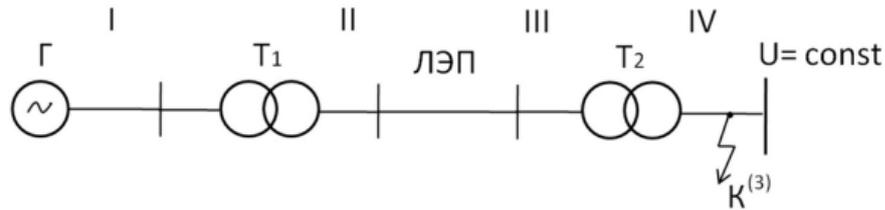
12. Дан трансформатор со следующими параметрами  $S_{ном}=40 \text{ МВА}; U_{ном}=115/38,5 \text{ кВ}; u_k=10,5\% R_k=170 \text{ кВт}$ . Коэффициент трансформации данного трансформатора, если точка КЗ находится на низшем напряжении, равен

**Ответ:** 0,335

13. Метод расчета токов короткого замыкания, при котором все физические величины имеют обозначения, принятые в системе СИ, называется \_\_\_\_\_

**Ответ:** Метод расчета в именованных единицах

14. Римскими цифрами на расчетной схеме, представленной на рисунке, обозначаются \_\_\_\_\_



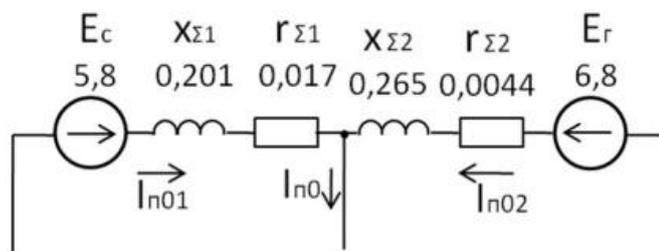
**Ответ: Ступени напряжения**

15. Схема замещения, представленная на рисунке, используется при расчете токов короткого замыкания методом / в \_\_\_\_\_



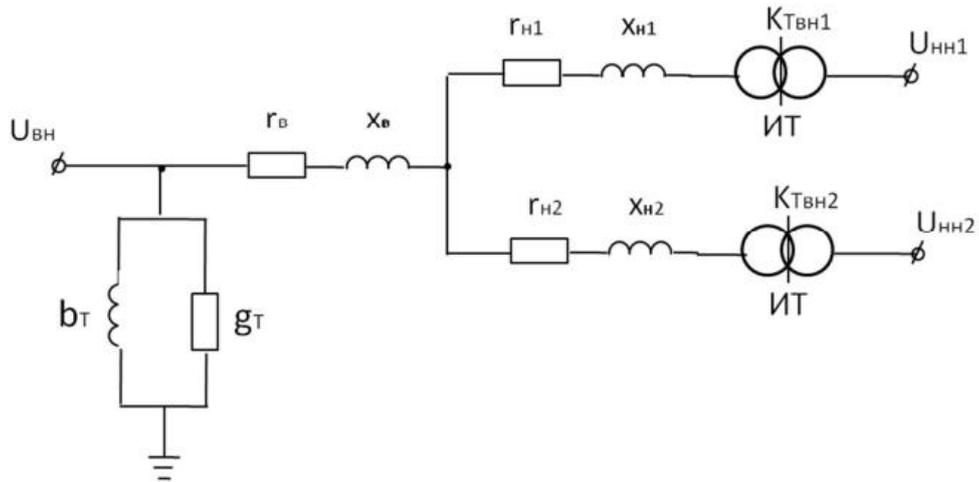
**Ответ: Относительных единиц / Относительных единицах**

16. Согласно представленному рисунку, периодическая составляющая тока короткого замыкания  $I_{п0}$  равна:



**Ответ: 31,399 кА.**

17. Представленная на рисунке схема замещения является схемой замещения \_\_\_\_\_



**Ответ: Двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой**

18. При решении задач в системе компьютерной алгебры Mathcad возможно использовать следующие виды блоков (способов записи/отображения данных), обозначенных на рисунке цифрами 1-3: \_\_\_\_\_

Функция → 1

$y(x) := 3-x^2$  → 2

Диапазон изменения аргумента

$x := 0..10$

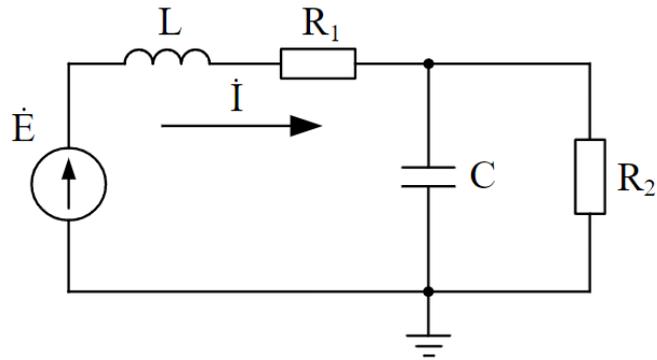
$x =$

0		
1		
2		
3		
...		

График функции → 3

**Ответ: Текстовый, вычислительный, графический**

19. Дана схема замещения электрической цепи и решение задачи поиска значения тока, выполненное в Mathcad. Пропущенными числовыми значениями сопротивления конденсатора, сопротивления катушки, действующим значением тока являются: \_\_\_\_\_



Исходные данные

$C := 100 \cdot 10^{-6}$  - емкость, Ф

$L := 200 \cdot 10^{-3}$  - индуктивность, Гн

$R_1 := 500$  - сопротивление, Ом

$R_2 := 1000$  - сопротивление, Ом

$E := 220 \cdot e^{0j}$  - ЭДС источника, В

$f := 50$  - частота, Гц

Решение задачи

$\omega := 2\pi f = 314.159$  - угловая частота, рад/с

$X_C :=$   - сопротивление конденсатора, Ом

$X_L :=$   - сопротивление катушки, Ом

$Z := \frac{-j \cdot X_C \cdot R_2}{-j \cdot X_C + R_2} + R_1 + j \cdot X_L = 501.012 + 31.033i$  - полное комплексное сопротивление цепи, Ом

$I := \frac{E}{Z} = 0.437 - 0.027i$  - ток в цепи, А

$I_m := |I| = 0.438$  - максимальное значение тока, А

$\varphi := \arg(I) \cdot \frac{180}{\pi} = -3.544$  - аргумент тока, эл. град.

$\varphi := \arg(I) = -0.062$  - аргумент (угол) тока, рад.

$I_{\text{д}} :=$   - действующее значение тока, А

$I := I_m \cdot \cos(\varphi) + j \cdot I_m \cdot \sin(\varphi) = 0.437 - 0.027i$  - тригонометрическая форма записи тока

$I := I_m \cdot e^{j \cdot \varphi} = 0.437 - 0.027i$  - показательная форма записи тока

$\text{Re}(I) = 0.437$  - действительная часть выражения

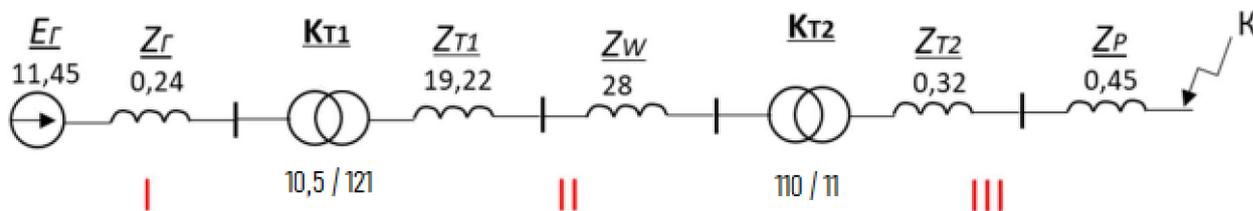
$\text{Im}(I) = -0.027$  - мнимая часть выражения

**Ответ: 31,83; 62,83; 0,31**

20. При расчете тока короткого замыкания совокупность электрических станций, электроподстанций, трансформаторов связи, ЛЭП можно заменить одним эквивалентным генератором, который принято называть \_\_\_\_\_

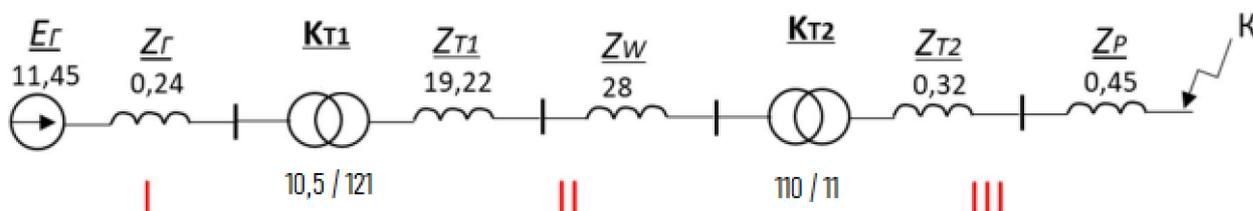
**Ответ: Электрической системой (системой)**

21. При приведении ЭДС генератора ( $E_g$ ) к основной ступени напряжения,  $E_g$  станет равен: \_



**Ответ: 13,19**

22. При приведении полного сопротивления трансформатора ( $Z_{T1}$ ) к основной ступени напряжения,  $Z_{T1}$  станет равен: \_\_\_\_\_



**Ответ: 0,19**

**Тестовые задания закрытого типа:**

23. В синхронной машине соотношение для индуктивных сопротивлений (сверхпереходное индуктивное сопротивление по продольной оси, переходное индуктивное сопротивление по продольной оси, синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси) имеет следующий вид

1.  $X''_{sd} > X'_{sd} > X_{sd}$
2.  $X''_{sd} < X'_{sd} > X_{sd}$
3.  **$X''_{sd} < X'_{sd} < X_{sd}$**
4.  $X''_{sd} > X'_{sd} < X_{sd}$

24. В начальный период переходного процесса в синхронной машине индуктивное сопротивление определяется

1. Переходными реактивными сопротивлениями
2. Реактивными сопротивлениями установившегося режима
3. **Сверхпереходными реактивными сопротивлениями**
4. Наибольшим значением между переходным реактивным сопротивлением и реактивным сопротивлениям установившегося режима

25. При расчетах в именованных единицах параметры элементов энергосистемы приводятся к основной ступени напряжения с использованием

1. **Коэффициента трансформации трансформатора**
2. Базисной величины напряжения трансформатора
3. Величины напряжения трансформатора в относительных единицах
4. Приведения к основной ступени напряжения номинального напряжения трансформатора

26. Отношение напряжения холостого хода обмотки трансформатора, обращенной в сторону выбранной основной ступени напряжения сети, к напряжению холостого хода обмотки, обращенной в противоположную сторону, называется

1. **Коэффициент трансформации трансформатора**
2. Базисная величина напряжения трансформатора
3. Величина напряжения трансформатора в относительных единицах
4. Приведенное к основной ступени напряжение

27. Реактивное сопротивление обмотки среднего напряжения трехобмоточного трансформатора обычно равно

1. Реактивному сопротивлению обмотки высокого напряжения
2. **Нулю**
3. Реактивному сопротивлению обмотки низкого напряжения
4. Бесконечности

28. Схема замещения сдвоенного токоограничивающего реактора выполняется в виде

1. Г-образного типа
2. **Трехлучевой звезды**
3. П-образного или Т-образного типа

4. Без поперечных элементов в виде сопротивления  $Z$

29. При расчете токов КЗ в схему замещения цепи вводится активное сопротивление 15 мОм с целью

1. Оценки термической стойкости коммутационной аппаратуры
2. Учета сопротивления петли фаза–нуль
3. Оценки влияния сопротивления питающей энергосистемы на токи КЗ
4. **Определения минимального тока КЗ с учетом токоограничивающего действия дуги в месте повреждения**

30. В качестве базисных величин в расчётах токов и напряжений в электрических схемах часто принимают

1. **Базисные мощность, напряжения, токи, сопротивления**
2. Базисные мощность, частота, индуктивность, емкость
3. Базисные токи, сопротивления, частота
4. Базисные мощность, токи, сопротивления, емкость, индуктивность

### 3 ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ НА РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКУЮ РАБОТУ

3.1 Учебным планом предусмотрено выполнение расчетно-графической работы.

Данная работа включает две задачи:

Задача 1: Расчёт действующего значения тока КЗ в начальный момент времени.

Задача 2: Расчёт действующего значения тока короткого замыкания на участке энергосистемы.

#### Задача 1.

Варианты заданий представлены в таблице 3.1. В соответствии с номером варианта выбирается исходная схема, исходные данные и дополнительные данные для составления расчетной схемы. Расчет необходимо проводить в относительных и именованных единицах.

Таблица 3.1 – Варианты заданий к задаче 1

Вариант	Рисунок	Точка КЗ	Вариант	Рисунок	Точка КЗ
1	3.1	4	13	3.1	4
2	3.1	3	14	3.1	3
3	3.1	2	15	3.1	2
4	3.1	1	16	3.1	1
5	3.2	4	17	3.2	4
6	3.2	3	18	3.2	3
7	3.2	2	19	3.2	2
8	3.2	1	20	3.2	1
9	3.3	4	21	3.3	4
10	3.3	3	22	3.3	3
11	3.3	2	23	3.3	2
12	3.3	1	24	3.3	1

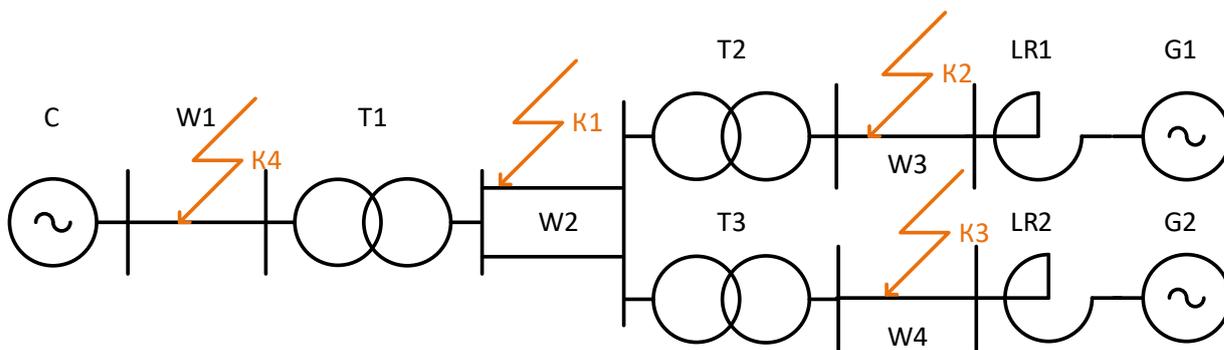


Рисунок 3.1

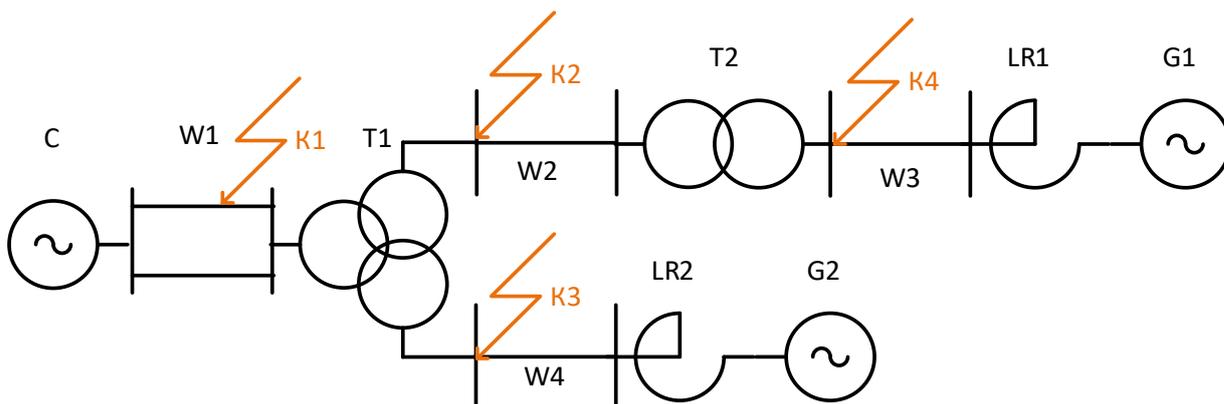


Рисунок 3.2

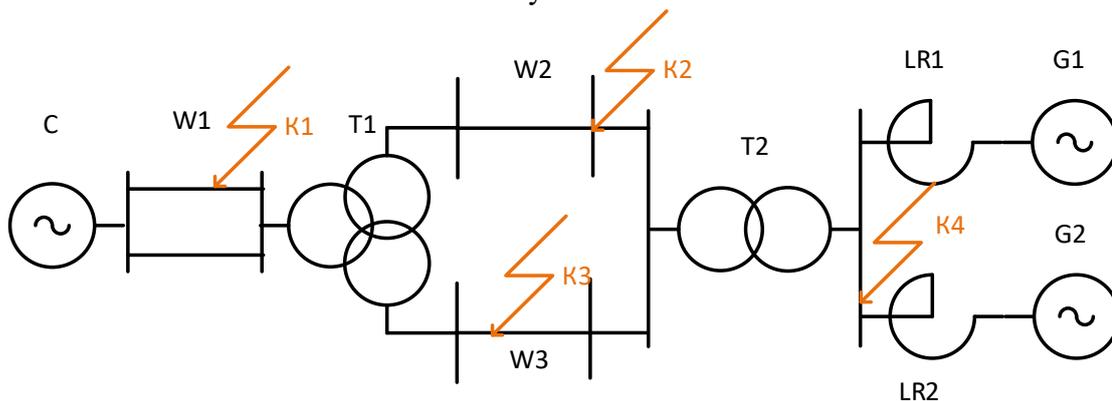


Рисунок 3.3

**Параметры Рисунка 3.1:**

Система (C):  $I_{к3}^{(3)} = 7,3$  кА

ЛЭП (W<sub>1</sub>) (параметры для одной цепи):  $l = 120$  км,  $x_0 = 0,43$  Ом/км,  $r_0 = 0,13$  Ом/км

ЛЭП (W<sub>2</sub>) (параметры для одной цепи):  $l = 40$  км,  $x_0 = 0,4$  Ом/км,  $r_0 = 0,17$  Ом/км

ЛЭП (W<sub>3</sub>) (параметры для одной цепи):  $l = 0,7$  км,  $x_0 = 0,43$  Ом/км,  $r_0 = 0,13$  Ом/км

ЛЭП (W<sub>4</sub>) (параметры для одной цепи):  $l = 0,4$  км,  $x_0 = 0,4$  Ом/км,  $r_0 = 0,21$  Ом/км

Трансформатор (T<sub>1</sub>):  $S_{номT1} = 200$  МВА,  $U_{номT1} = 127,05/10,5$  кВ,  $u_{кT1} = 10,5\%$ ,  $\Delta P_{кT1} = 170$  кВт

Трансформатор (T<sub>2</sub>):  $S_{номT2} = 125$  МВА,  $U_{номT2} = 127,05/10,5$  кВ,  $u_{кT2} = 10,5\%$ ,  $\Delta P_{кT2} = 315$  кВт

Трансформатор (T<sub>3</sub>):  $S_{номT2} = 40$  МВА,  $U_{номT2} = 120,75/10,5$  кВ,  $u_{кT2} = 10,5\%$ ,  $\Delta P_{кT2} = 200$  кВт

Реактор (LR<sub>1</sub>):  $x_{номP} = 0,18$  Ом,  $U_{номP} = 10$  кВ,  $I_{номP} = 4$  кА,  $P_{кP} = 22$  кВт

Реактор (LR<sub>2</sub>):  $x_{\text{НОМР}} = 0,56 \text{ Ом}$ ,  $U_{\text{НОМР}} = 10 \text{ кВ}$ ,  $I_{\text{НОМР}} = 1 \text{ кА}$ ,  $P_{\text{кР}} = 8,5 \text{ кВт}$

Генератор (G<sub>1</sub>):  $P_{\text{НОМГ}} = 100 \text{ МВт}$ ,  $\cos\varphi_{\text{НОМГ}} = 0,85$ ;  $U_{\text{НОМГ}} = 10,5 \text{ кВ}$ ,  $x^*d'' = 0,18$ ,  $x^*2(\text{НОМ}) = 0,22$ ,  $T_a = 0,27 \text{ с}$ .

Генератор (G<sub>2</sub>):  $P_{\text{НОМГ}} = 50 \text{ МВт}$ ,  $\cos\varphi_{\text{НОМГ}} = 1$ ;  $U_{\text{НОМГ}} = 10,5 \text{ кВ}$ ,  $x^*d'' = 0,14$ ,  $x^*2(\text{НОМ}) = 0,17$ ,  $T_a = 0,27 \text{ с}$ .

### Параметры Рисунка 3.2:

Система (С):  $I_{\text{кз}}^{(3)} = 17,1 \text{ кА}$

ЛЭП (W<sub>1</sub>) (параметры для одной цепи):  $l = 84 \text{ км}$ ,  $x_0 = 0,63 \text{ Ом/км}$ ,  $r_0 = 0,11 \text{ Ом/км}$

ЛЭП (W<sub>2</sub>) (параметры для одной цепи):  $l = 4 \text{ км}$ ,  $x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$ ,  $r_0 = 0,17 \text{ Ом/км}$

ЛЭП (W<sub>3</sub>) (параметры для одной цепи):  $l = 0,5 \text{ км}$ ,  $x_0 = 0,43 \text{ Ом/км}$ ,  $r_0 = 0,1 \text{ Ом/км}$

ЛЭП (W<sub>4</sub>) (параметры для одной цепи):  $l = 0,2 \text{ км}$ ,  $x_0 = 0,47 \text{ Ом/км}$ ,  $r_0 = 0,24 \text{ Ом/км}$

Трансформатор (T<sub>1</sub>):  $S_{\text{НОМТ1}} = 200 \text{ МВА}$ ,  $U_{\text{НОМТ1}} = 117,87/10,5/10,5 \text{ кВ}$ ,  $u_{\text{кТ1}} = 10,5\%$ ,  $\Delta P_{\text{кТ1}} = 170 \text{ кВт}$

Трансформатор (T<sub>2</sub>):  $S_{\text{НОМТ2}} = 150 \text{ МВА}$ ,  $U_{\text{НОМТ2}} = 120,75/10,5 \text{ кВ}$ ,  $u_{\text{кТ2}} = 10,5\%$ ,  $\Delta P_{\text{кТ2}} = 215 \text{ кВт}$

Реактор (LR<sub>1</sub>):  $x_{\text{НОМР}} = 0,16 \text{ Ом}$ ,  $U_{\text{НОМР}} = 10 \text{ кВ}$ ,  $I_{\text{НОМР}} = 3,5 \text{ кА}$ ,  $P_{\text{кР}} = 22 \text{ кВт}$

Реактор (LR<sub>2</sub>):  $x_{\text{НОМР}} = 0,56 \text{ Ом}$ ,  $U_{\text{НОМР}} = 10 \text{ кВ}$ ,  $I_{\text{НОМР}} = 1 \text{ кА}$ ,  $P_{\text{кР}} = 8,5 \text{ кВт}$

Генератор (G<sub>1</sub>):  $P_{\text{НОМГ}} = 150 \text{ МВт}$ ,  $\cos\varphi_{\text{НОМГ}} = 0,85$ ;  $U_{\text{НОМГ}} = 10,5 \text{ кВ}$ ,  $x^*d'' = 0,19$ ,  $x^*2(\text{НОМ}) = 0,24$ ,  $T_a = 0,27 \text{ с}$ .

Генератор (G<sub>2</sub>):  $P_{\text{НОМГ}} = 50 \text{ МВт}$ ,  $\cos\varphi_{\text{НОМГ}} = 0,85$ ;  $U_{\text{НОМГ}} = 10,5 \text{ кВ}$ ,  $x^*d'' = 0,19$ ,  $x^*2(\text{НОМ}) = 0,24$ ,  $T_a = 0,27 \text{ с}$ .

### Параметры Рисунка 3.3:

Система (С):  $I_{\text{кз}}^{(3)} = 24,8 \text{ кА}$

ЛЭП (W<sub>1</sub>) (параметры для одной цепи):  $l = 14 \text{ км}$ ,  $x_0 = 0,83 \text{ Ом/км}$ ,  $r_0 = 0,11 \text{ Ом/км}$

ЛЭП (W<sub>2</sub>) (параметры для одной цепи):  $l = 4 \text{ км}$ ,  $x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$ ,  $r_0 = 0,17 \text{ Ом/км}$

ЛЭП (W<sub>3</sub>) (параметры для одной цепи):  $l = 4 \text{ км}$ ,  $x_0 = 0,43 \text{ Ом/км}$ ,  $r_0 = 0,2 \text{ Ом/км}$

Трансформатор (T<sub>1</sub>):  $S_{\text{НОМТ1}} = 200 \text{ МВА}$ ,  $U_{\text{НОМТ1}} = 117,87/35/35 \text{ кВ}$ ,  $u_{\text{кТ1}} = 10,5\%$ ,  $\Delta P_{\text{кТ1}} = 170 \text{ кВт}$

Трансформатор (T<sub>2</sub>):  $S_{\text{НОМТ2}} = 63 \text{ МВА}$ ,  $U_{\text{НОМТ2}} = 35/6,3 \text{ кВ}$ ,  $u_{\text{кТ2}} = 10,5\%$ ,  $\Delta P_{\text{кТ2}} = 187 \text{ кВт}$

Реактор (LR<sub>1</sub>):  $x_{\text{НОМР}} = 0,16 \text{ Ом}$ ,  $U_{\text{НОМР}} = 10 \text{ кВ}$ ,  $I_{\text{НОМР}} = 4 \text{ кА}$ ,  $P_{\text{кР}} = 22 \text{ кВт}$

Реактор (LR<sub>2</sub>):  $x_{\text{НОМР}} = 0,56 \text{ Ом}$ ,  $U_{\text{НОМР}} = 10 \text{ кВ}$ ,  $I_{\text{НОМР}} = 1 \text{ кА}$ ,  $P_{\text{кР}} = 8,5 \text{ кВт}$

Генератор (G<sub>1</sub>):  $P_{\text{НОМГ}} = 32 \text{ МВт}$ ,  $\cos\varphi_{\text{НОМГ}} = 0,85$ ;  $U_{\text{НОМГ}} = 6,3 \text{ кВ}$ ,  $x^*d'' = 0,15$ ,  $x^*2(\text{НОМ}) = 0,18$ ,  $T_a = 0,27 \text{ с}$ .

Генератор (G<sub>2</sub>): P<sub>номГ</sub> = 32 МВт, cosφ<sub>номГ</sub> = 0,85; U<sub>номГ</sub> = 6,3 кВ, x\*d'' = 0,19, x\*2(ном) = 0,24, T<sub>a</sub> = 0,27 с.

### Задача 2.

Варианты заданий представлены в таблице 3.2. В соответствии с номером варианта из выбирается исходная схема, исходные данные и дополнительные данные для составления расчетной схемы.

Расчет необходимо проводить в относительных и именованных единицах.

Сопротивления элементов системы определять с учетом действительных коэффициентов трансформации трансформаторов, указанных в таблице исходных данных. Сопротивления необходимо рассчитать как в относительных единицах, приведенных к базисным условиям, так и в именованных единицах, отнесенных к основной ступени напряжения.

Система характеризуется как источник неизменного напряжения, численно равного среднему номинальному напряжению. Мощность и сопротивление системы для каждой расчетной схемы приведены после таблицы дополнительных данных для составления расчетной схемы.

При определении активных сопротивлений элементов схемы можно использовать следующие рекомендации:

1. Для обобщенной нагрузки  $\frac{x''_{нг}}{r_{нг}} = 4 - 5 /$
2. Для асинхронных двигателей использовать формулу, Ом:

$$r_M = \frac{M_n^*}{I_n^{*2}} \cdot \frac{U_{ном}^2 \cdot \cos\varphi_{ном}^2}{P_{ном}}$$

где  $M_n^*$  и  $I_n^*$  - кратности пускового момента и пускового тока по отношению к номинальным значениям;  $P_{ном}$ ,  $U_{ном}$  - номинальные мощность и напряжение асинхронного двигателя.

Таблица 3.2 – Варианты исходных данных для расчетов

Вариант	Исходная схема	Вариант исходных данных	Вариант дополнительных данных для составления расчетной схемы
1	1 (рис. 3.4)	1 (табл. 3.3)	1 (табл. 3.4)
2	2 (рис. 3.5)	1 (табл. 3.5)	1 (табл. 3.6)
3	3 (рис. 3.6)	1 (табл. 3.7)	1 (табл. 3.8)

4	4 (рис. 3.7)	1 (табл. 3.9)	1 (табл. 3.10)
5	1 (рис. 3.4)	2 (табл. 3.3)	2 (табл. 3.4)
6	2 (рис. 3.5)	2 (табл. 3.5)	2 (табл. 3.6)
7	3 (рис. 3.6)	2 (табл. 3.7)	2 (табл. 3.8)
8	4 (рис. 3.7)	2 (табл. 3.9)	2 (табл. 3.10)
9	1 (рис. 3.4)	3 (табл. 3.3)	3 (табл. 3.4)
10	2 (рис. 3.5)	3 (табл. 3.5)	3 (табл. 3.6)
11	3 (рис. 3.6)	3 (табл. 3.7)	3 (табл. 3.8)
12	4 (рис. 3.7)	3 (табл. 3.9)	3 (табл. 3.10)
13	1 (рис. 3.4)	1 (табл. 3.3)	4 (табл. 3.4)
14	2 (рис. 3.5)	1 (табл. 3.5)	4 (табл. 3.6)
15	3 (рис. 3.6)	1 (табл. 3.7)	4 (табл. 3.8)
16	4 (рис. 3.7)	1 (табл. 3.9)	4 (табл. 3.10)
17	1 (рис. 3.4)	2 (табл. 3.3)	5 (табл. 3.4)
18	2 (рис. 3.5)	2 (табл. 3.5)	5 (табл. 3.6)
19	3 (рис. 3.6)	2 (табл. 3.7)	5 (табл. 3.8)
20	4 (рис. 3.7)	2 (табл. 3.9)	5 (табл. 3.10)
21	1 (рис. 3.4)	3 (табл. 3.3)	6 (табл. 3.4)
22	2 (рис. 3.5)	3 (табл. 3.5)	6 (табл. 3.6)
23	3 (рис. 3.6)	3 (табл. 3.7)	6 (табл. 3.8)
24	4 (рис. 3.7)	3 (табл. 3.9)	6 (табл. 3.10)

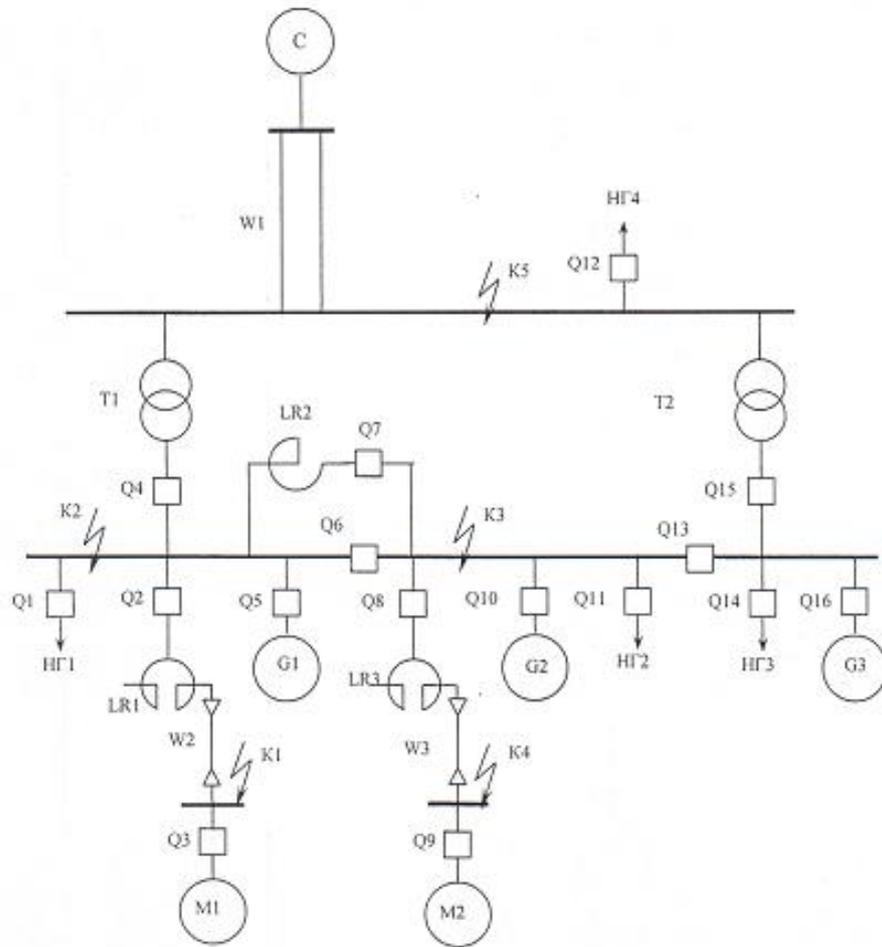


Рисунок 3.4 – Исходная схема № 1

Таблица 3.3 – Дополнительные данные к рисунку для составления расчетной схемы

№ варианта	Точка КЗ	Включены выключатели Q
1	K1	1, 2, 3, 4, 5
2	K2	1, 2, 3, 4, 5
3	K4	4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16
4	K3	1, 4, 5, 7, 10, 11, 13, 15
5	K2	1, 4, 5, 6, 13, 14, 15, 16
6	K2	1, 4, 5, 7, 13, 14, 15, 16
7	K5	4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16

Примечания: 1. Выключатели, не указанные в задании, считать разомкнутыми.

2. Во всех вариантах принять следующие параметры системы:

$$S_{ном} = 6000 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{C(ном)} = 0,8 \text{ о.е.}$$

Таблица 3.4 – Данные элементов схемы № 1, приведенной на рисунке 3.4

Элементы схемы	Параметры оборудования	1	2	3
	№ варианта			

Генераторы G1, G2, G3		$P_H$ , МВт	12	30	50
		$U_H$ , кВ	6,3	6,3	6,3
		$x_d''$ , о.е.	0,13	0,14	0,13
		$x_2$ , о.е.	0,14	0,17	0,16
		$r \cdot 10^{-3}$ , о.е.	1,8	3,2	1,4
		$P_{(0)}/P_H$	1	0,85	1
		$\cos\varphi$	0,8	0,8	0,8
Трансформаторы T1, T2		$S_H$ , МВА	25	32	40
		$U_H$ , кВ	120,75 / 6,3	117,87 / 6,3	120,75 / 6,3
		$u_k$ , %	10,5	10,5	10,5
Реакторы LR1, LR3 ( $K_{св}=0,5$ )		$I_H$ , кА	0,63	1,6	1,6
		$U_H$ , кВ	6	6	6
		$x_p$ , Ом	0,56	0,2	0,25
		$\Delta P_{ном \phi}$ , кВт	8,6	20,7	18,4
Линия электропередачи W1		$L$ , км	40	50	60
		$x$ , Ом/км	0,41	0,4	0,39
		$r$ , Ом/км	0,17	0,13	0,11
Асинхронные двигатели M1, M2		$P_H$ , МВт	2	3,2	4
		$U_H$ , кВ	6	6	6
		$\cos\varphi$	0,9	0,9	0,91
		$I_H/I_H$	5,5	6,4	5,8
		$M_H/M_H$	0,8	0,7	0,8
		$P_{(0)}/P_H$	0,8	0,7	0,85
Реактор LR2		$I_H$ , кА	1	1,6	4
		$U_H$ , кВ	6	6	6
		$x_p$ , Ом	0,56	0,2	0,18
		$\Delta P_{ном \phi}$ , кВт	8,5	18	22
Кабель w2,w3		$L$ , км	0,5	1	0,75
		$x$ , Ом/км	0,08	0,07	0,08
		$r$ , Ом/км	0,44	0,32	0,32
Нагрузка	НГ1, 3	$S_H$ , МВА	25	50	60
	НГ2, 4	$S_H$ , МВА	20	40	50

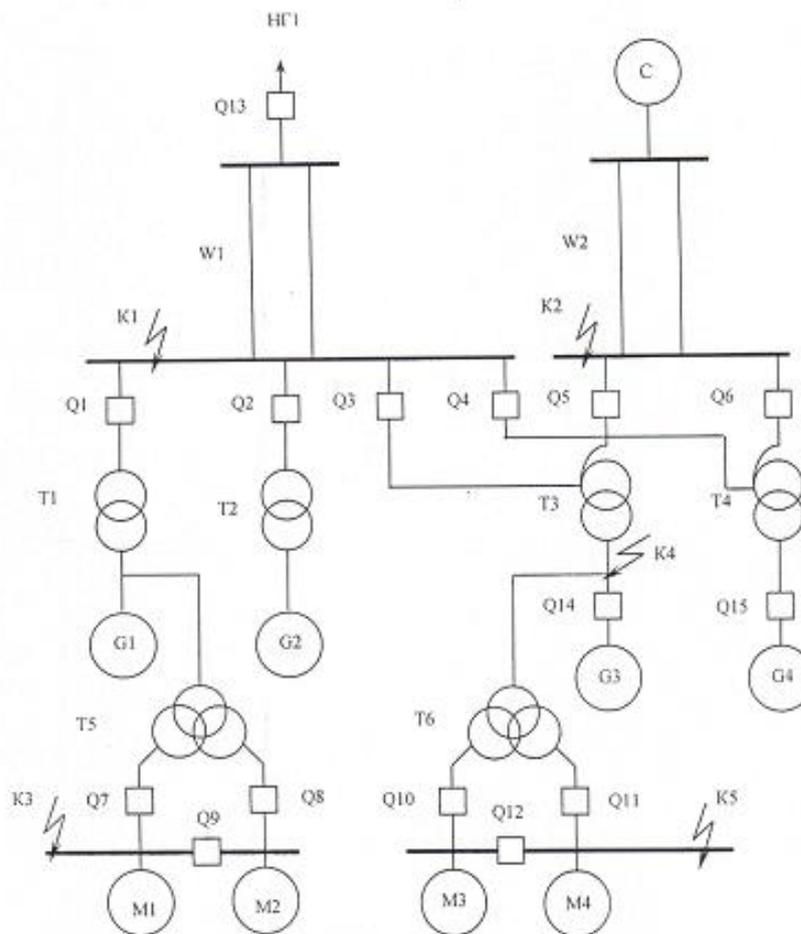


Рисунок 3.5 – Исходная схема № 2

Таблица 3.5 – Дополнительные данные к рисунку для составления расчетной схемы

№ варианта	Точка КЗ	Включены выключатели Q
1	K1	1, 4, 6, 7, 8, 13, 15
2	K1	3, 4, 5, 6, 13, 14, 15
3	K2	5, 10, 11, 14
4	K2	5, 6, 10, 11, 14, 15
5	K4	5, 10, 11, 14
6	K4	5, 6, 10, 11, 14, 15
7	K3	1, 3, 5, 7, 8, 14

Примечания: 1. Выключатели, не указанные в задании, считать разомкнутыми.  
 2. Во всех вариантах принять следующие параметры системы:

$$S_{ном} = 8000 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{C(ном)} = 1,1 \text{ о.е.}$$

Таблица 3.6 – Данные элементов схемы № 2, приведенной на рисунке 3.5

Элементы схемы	Параметры оборудования	1	2	3
	№ варианта			
Генераторы G1, G2, G3, G4	$P_H$ , МВт	100	150	300
	$U_H$ , кВ	10,5	18	20
	$x_d''$ , о.е.	0,18	0,21	0,2
	$x_2$ , о.е.	0,22	0,26	0,24
	$r \cdot 10^{-3}$ , о.е.	2,12	2,02	2,6
	$P_{(0)}/P_H$	0,8	0,85	0,75
	$\cos\varphi$	0,85	0,85	0,85
Трансформаторы T1, T2	$S_H$ , МВА	125	200	400
	$U_H$ , кВ	127,05 / 10,5	121 / 18	230 / 20
	$u_k$ , %	10,5	10,5	10,5
Трансформаторы T5, T6	$S_H$ , МВА	6,3	10	25
	$U_H$ , кВ	10,5 / 6,3	18 / 6,3	20,6 / 6,3
	$u_k$ , %	8	8	9,5
Линия электропередачи W1	$L$ , км	120	150	200
	$x$ , Ом/км	0,43	0,42	0,33
	$r$ , Ом/км	0,13	0,11	0,06
Асинхронные двигатели M1, M2, M3, M4	$P_H$ , МВт	2,5	3,2	8
	$U_H$ , кВ	6	6	6
	$\cos\varphi$	0,9	0,9	0,91
	$I_H/I_H$	5,6	6,4	5,6
	$M_H/M_H$	0,8	0,9	0,75
	$P_{(0)}/P_H$	0,9	0,7	0,8
Линия электропередачи W2	$L$ , км	40	50	80
	$x$ , Ом/км	0,4	0,41	0,4
	$r$ , Ом/км	0,17	0,21	0,13
Трансформаторы T3, T4	$S_H$ , МВА	250	320	650
	$U_H$ , кВ	230 / 135 / 11	230 / 128 / 11	500 / 257 / 20
	$u_{квс}$ , %	11	11	9,5
	$u_{квн}$ , %	32	32	29
	$u_{ксн}$ , %	20	20	17,5
Нагрузка НГ1	$S_H$ , МВА	100	200	300

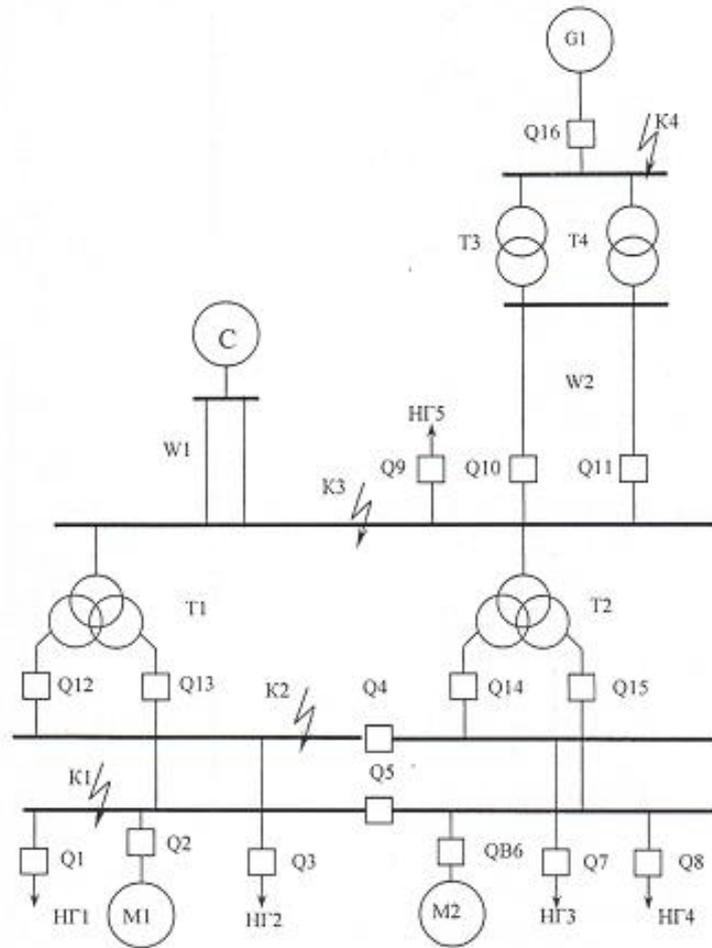


Рисунок 3.6 – Исходная схема № 3

Таблица 3.7 – Дополнительные данные к рисунку для составления расчетной схемы

№ варианта	Точка КЗ	Включены выключатели Q
1	К1	1, 2, 3, 12, 13
2	К1	3, 6, 13, 15
3	К2	1, 2, 3, 12, 13
4	К3	1, 2, 3, 9, 12, 13
5	К3	1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 13, 16
6	К4	9, 10, 11, 16
7	К4	7, 8, 10, 11, 14, 15, 16

Примечания: 1. Выключатели, не указанные в задании, считать разомкнутыми.

2. Во всех вариантах принять следующие параметры системы:

$$S_{ном} = 8000 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{C(ном)} = 1,1 \text{ о.е.}$$

$$\text{Для нагрузки НГ5: } S_{ном} = 25 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Таблица 3.8 – Данные элементов схемы № 3, приведенной на рисунке 3.6

Элементы схемы		Параметры оборудования № варианта	1	2	3
Генератор G1		$P_H$ , МВт	32	32	63
		$U_H$ , кВ	6,3	10,5	6,3
		$x_d''$ , о.е.	0,14	0,15	0,19
		$x_2$ , о.е.	0,17	0,18	0,24
		$r \cdot 10^{-3}$ , о.е.	3,2	3,2	1,4
		$P_{(0)}/P_H$	0,9	0,8	0,8
		$\cos\varphi$	0,8	0,8	0,8
Трансформаторы T1, T2		$S_H$ , МВА	25	40	63
		$U_H$ , кВ	120,75/6,3/6,3	117,87/10,5/10,5	115/10,5/10,5
		$u_k$ , %	10,5	10,5	10,5
Трансформаторы T3, T4		$S_H$ , МВА	16	25	25
		$U_H$ , кВ	109 / 6,3	112 / 10,5	115 / 6,3
		$u_k$ , %	10,5	10,5	10,5
Линия электропередачи W1		$L$ , км	45	50	50
		$x$ , Ом/км	0,43	0,32	0,32
		$r$ , Ом/км	0,13	0,06	0,06
Линия электропередачи W2		$L$ , км	25	25	15
		$x$ , Ом/км	0,44	0,44	0,43
		$r$ , Ом/км	0,43	0,45	0,33
Синхронные двигатели M1, M2		$P_H$ , МВт	4	5	6
		$U_H$ , кВ	6	10	10
		$\cos\varphi$	0,8	0,8	0,8
		$r \cdot 10^{-3}$ , о.е.	6	5	5
		$I_H/I_H$	9,24	10	8,9
		$P_{(0)}/P_H$	1	0,8	0,9
Нагрузка	НГ1,4	$S_H$ , МВА	10	17	26
	НГ2,3	$S_H$ , МВА	14	22	35

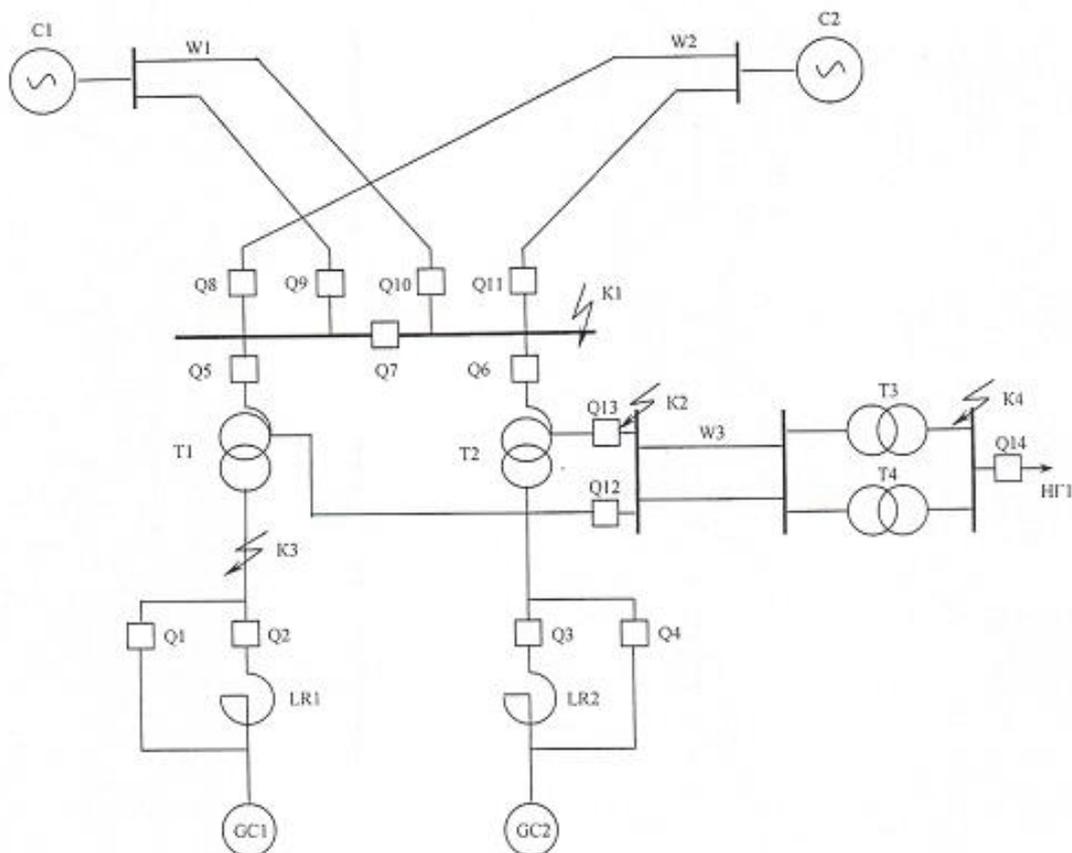


Рисунок 3.7 – Исходная схема № 4

Таблица 3.9 – Дополнительные данные к рисунку для составления расчетной схемы

№ варианта	Точка КЗ	Включены выключатели Q
1	K1	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
2	K1	1, 4, 5, 6, 7, 8, 11
3	K2	1, 5, 7, 8, 10, 12, 14
4	K2	1, 5, 8, 12, 14
5	K3	1, 4, 5, 6, 7, 8, 10
6	K3	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
7	K4	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

Примечания: 1. Выключатели, не указанные в задании, считать разомкнутыми.  
 2. Во всех вариантах принять следующие параметры системы:

$$C1: S_{ном} = 1000 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{C(ном)} = 0,2 \text{ о.е.}$$

$$C2: S_{ном} = 800 \text{ МВ} \cdot \text{А}; x_{C(ном)} = 0,4 \text{ о.е.}$$

Таблица 3.10 – Данные элементов схемы № 4, приведенной на рисунке 3.7

Элементы схемы	Параметры оборудования	1	2	3
	№ варианта			
Автотрансформаторы Т1, Т2	$S_H$ , МВА	125	160	200
	$U_H$ , кВ	230/128,2/11	230/125,8/11	230/118,6/11
	$\alpha_{КВС}$ , %	11	11	11
	$\alpha_{КВН}$ , %	31	32	32
	$\alpha_{КСН}$ , %	19	20	20
Синхронные компенсаторы CG1, CG2	$S_H$ , МВА	32	50	75
	$U_H$ , кВ	10,5	11	11
	$x_d$ , о.е.	0,22	0,28	0,23
	$x_2$ , о.е.	0,24	0,30	0,23
	$r \cdot 10^{-3}$ , о.е.	0,01	0,006	0,0043
	$S_{(0)}$ , о.е.	0,9	1,0	0,8
Пусковые реакторы LR1, LR2 ( $K_{св}=0,5$ )	$I_H$ , кА	0,4	0,63	1,0
	$U_H$ , кВ	10	10	10
	$x_p$ , Ом	0,2	0,2	0,2
	$\Delta P_{ном \phi}$ , кВт	6	8,5	7,8
Трансформаторы Т3, Т4	$S_H$ , МВА	25	40	63
	$U_H$ , кВ	120,75/10,5	117,87/10,5	115/10,5
	$\alpha_k$ , %	10,5	10,5	10,5
Линия электропередачи W1	$L$ , км	120	140	150
	$x$ , Ом/км	0,43	0,42	0,42
	$r$ , Ом/км	0,13	0,11	0,11
Линия электропередачи W2	$L$ , км	80	90	100
	$x$ , Ом/км	0,43	0,42	0,42
	$r$ , Ом/км	0,13	0,11	0,11
Линия электропередачи W3	$L$ , км	25	40	35
	$x$ , Ом/км	0,41	0,41	0,39
	$r$ , Ом/км	0,17	0,21	0,11
Нагрузка	$S_H$ , МВА	30	45	70

3.2 Расчетно-графическая работа оценивается по системе «зачтено / не зачтено». Качественные критерии оценивания расчетно-графической работы приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Критерии оценивания расчетно-графической работы

Оценка	Критерий
«Зачтено»	Методика и порядок расчета верные. Ошибки отсутствуют, либо имеются несущественные вычислительные ошибки.
	Методика и порядок расчета верные. Имеются вычислительные ошибки, обусловленные невнимательностью при расчетах, которые не привели к существенному искажению результата.
	Имеются незначительные ошибки в методологии, ошибки в промежуточных расчетах или выборе коэффициентов, обусловленные неполным пониманием принципа расчета, при этом конечный результат имеет приемлемые отклонения.
«Не зачтено»	Применена неверная методология, нарушен порядок расчета, имеется серьезная системная ошибка, обусловленные непониманием принципа расчета и приведшие к ошибочному результату.

**4 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ**

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Моделирование в электроэнергетике» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Преподаватель-разработчик – Д.К. Кугучева

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен заведующим кафедрой энергетики.

Заведующий кафедрой



В.Ф. Белей

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен методической комиссией ИМТЭС (протокол № 8 от 26.08.2024 г).

Председатель методической комиссии ИМТЭС



О.А. Бельх