

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич
Должность: ректор
Дата подписания: 08.10.2022 20:40:38
Уникальный программный ключ:
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf278495bbe750df2374818f20a39c01e

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»

Кафедра «Электроснабжение»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


О.Г. Локтионова
« 30 » 09



Переходные процессы в электроэнергетических системах

Методические указания по организации самостоятельной работы обучающихся направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Курск 2022

УДК 621.311

Составитель канд. техн. наук, доцент В.Н. Алябьев

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *О.М.Ларин*

Переходные процессы в электроэнергетических системах: методические указания по организации самостоятельной работы обучающихся направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»/ Юго-зап. гос. ун-т; сост. В.Н.Алябьев; Курск, 2022. 48 с.

Приведены структура, методики реализации самостоятельной работы, задания, вопросы для подготовки к защите курсовой работы. Представлена методика применения кредитно-рейтинговой системы.

Предназначены для студентов всех форм обучения направления подготовки Электроэнергетика и электротехника.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. . Уч.-изд.л. . Тираж 30 экз. Заказ 2012 Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Содержание

	Общие сведения.....	4
1	Структура самостоятельной работы	5
2	Методика реализации самостоятельной работы по изучению теоретического курса	8
3	Методика реализации самостоятельной работы при решении задач	10
4	Методика реализации самостоятельной работы по курсовой работе	28
4.1	Структура курсовой работы	28
4.2	Требования к оформлению курсовой работы	29
4.3	Методика выполнения курсовой работы	32
4.4	Методика защиты курсовой работы	42
4.5	Вопросы для подготовки к защите курсовой работы	42
5	Реализация графика самостоятельной работы	44
6	Методика применения кредитно-рейтинговой системы.....	45
7	Методика проведения промежуточной аттестации	47
	Список использованных источников.....	48

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Самостоятельная работа по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах» должна способствовать: закреплению знаний студентов по расчету и анализу аварийных режимов; развитию инженерного мышления;

совершенствованию навыков применения методов расчёта переходных процессов;

воспитанию способности к физической интерпретации результатов анализа;

развитию навыков предвидения тяжести протекания переходных процессов в условиях управления режимами электроэнергетических систем (ЭЭС).

Практические задачи, при решении которых специалист-электрик сталкивается с необходимостью количественной оценки тех или иных величин во время электромагнитного переходного процесса, многочисленны и разнообразны. Однако все они в конечном итоге объединены единой целью - обеспечить надежность работы отдельных элементов и электрической системы в целом.

Выпускник по направлению подготовки бакалавров 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника в соответствии с целями основной образовательной программы и задачами профессиональной деятельности должен обладать следующими компетенциями:

ПК-2. Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.

ПК-2.1. Проводит маркетинговые исследования научно-технической информации

ПК-2.2. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта и результатов экспериментов и исследований в области профессиональной деятельности

ПК-2.3. Готовит предложения для составления планов и методических программ исследований и разработок, практических рекомендаций по исполнению их результатов

Для изучения дисциплины «Переходные процессы в электроэнергетических системах» необходимы остаточные знания по дисциплинам: физика; высшая математика (векторная алгебра, комплексные числа, дифференциальные и операционные исчисления и др.); теоретические основы электротехники (переходные процессы в цепях с сосредоточенными и распределенными параметрами); электрические машины (синхронные и асинхронные машины); электроэнергетические системы и сети (параметры схемы замещения воздушных и кабельных линий электропередачи, трансформаторов различного исполнения и др.).

1. СТРУКТУРА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа включает изучение некоторых вопросов теоретического курса, самостоятельное решение задач и выполнение курсовой работы. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 10 зачётных единиц (360 часов), из них на самостоятельную работу и подготовку к экзамену отводится 159,7 часа.

Структура самостоятельной работы приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

№ раздела (темы)	Наименование раздела (темы) дисциплины	Срок выполнения (неделя)	Время, затрачиваемое на выполнение СРС, час.
6 семестр			
1	Общие сведения о переходных процессах в системах электроснабжения	2	5,8
2	Токи трехфазного короткого замыкания	6	14
3	Практические методы расчета токов трехфазного короткого замыкания	9	16
4	Переходные процессы при нарушении симметрии трехфазной цепи	12	16
5	Однократная поперечная и продольная несимметрия	15	16
6	Переходные процессы при особых условиях	16	16
7	Уровни мощностей и токов коротких замыканий	16	14
11	Выполнение курсовой работы	16	36
7 семестр			
8	Общие сведения об электромеханических переходных процессах в системах электроснабжения	20	3,9
9	Практические критерии и методы расчета устойчивости	28	10
10	Переходные процессы в узлах нагрузки	34	12
Итого			159,7

Содержание самостоятельной работы по темам, литература и компетенции, приобретаемые студентами, приведены в таблице 1.2

Таблица 1.2

№ п/п	Раздел, темы дисциплины	Виды деятельности			Учебно-методические материалы	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)	Компетенции
		лек час	№ лаб	№ пр.			
6 семестр							
1	Общие сведения о переходных процессах в системах электро-снабжения	2		1	У-1,МУ-5, МУ-6	С	ПК-2
2	Токи трехфазного короткого замыкания	6	1,5	2	У-1, У-2, У-4, У-6, МУ-1, 2, МУ-5,6	С	ПК-2
3	Практические методы расчета токов трехфазного короткого замыкания	6	6	3,4	У-1, У-2, У-4, У-6, МУ-2, 5,6	С	ПК-2
4	Переходные процессы при нарушении симметрии трехфазной цепи	4	2,6	5	У-1, У-2, У-4, У-6, МУ-1, 2, МУ-5,6	С	ПК-2
5	Однократная поперечная и продольная несимметрия	6	2,6	5	У-1, У-2, У-4, У-6, МУ-1, 2, МУ-5,6	С	ПК-2
6	Переходные процессы при особых условиях	6	3	6	У-1, У-2, У-4, У-6, МУ-1, МУ-5, МУ-6	С	ПК-2
7	Уровни мощностей и токов коротких замыканий	2	7	7	У-1, У-2, У-4, У-6, МУ-2, МУ-3, МУ-5, МУ-6	С, К	ПК-2
7 семестр							
8	Общие сведения об электромеханических переходных процессах в системах электроснабжения	2		8	У-2, У-8, У-5, У-7, МУ-4, МУ-6	С	ПК-2
9	Практические критерии и методы расчета устойчивости	18		9, 10, 11	У-2, У-8, У-5, У-7, МУ-4, МУ-5, МУ-6	С	ПК-2
10	Переходные процессы в узлах нагрузки	16		12	У-2, У-8, У-5, У-7, МУ-4, МУ-5, МУ-6	С	ПК-2

Самостоятельное изучение вопросов теоретического курса необходимо для лучшего усвоения наиболее важных моментов. Решение практических задач позволяет закрепить материал, изучаемый в аудитории, и проверить готовность самостоятельно решать задачи на пройденные темы. Итоговым видом самостоятельной работы является курсовая работа, которая комплексно объединяет теоретический курс и решение задач. Методики реализации видов самостоятельной работы рассмотрены ниже.

2. МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО КУРСА

Для самостоятельной проработки теоретических вопросов необходимо использовать учебно-методические материалы по дисциплине [2, 3, 4, 5], а также другую доступную литературу.

Вопросы теоретического курса, выносимые на самостоятельную работу

1. (Разделы 1, 2,3). Общие сведения о переходных процессах в системах электроснабжения. Токи трехфазного короткого замыкания. Практические методы расчета токов трехфазного короткого замыкания.

Тема 1.1. Изучить условия коротких замыканий [2, гл. 2, с. 16-19].

Тема 1.2. Научиться преобразовывать исходные схемы в эквивалентные результирующие [2, с. 57-65].

Тема 1.3. Учёт комплексной нагрузки при расчёте токов короткого замыкания [2, с. 97-105].

Тема 1.4. Знать преобразование многолучевой звезды в полный многоугольник [2, с. 57-69].

2. (Раздел 4,5). Переходные процессы при нарушении симметрии трехфазной цепи. Однократная поперечная и продольная несимметрия.

Тема 2.1. Научиться составлять схему замещения нулевой последовательности двухцепной трехфазной воздушной линии с заземленным грозозащитным тросом [2, с. 45-57].

Изучить токоограничивающие устройства реактивно-вентильного типа [4, с. 225-227].

Вставки постоянного и переменного тока не промышленной частоты как средство ограничения токов короткого замыкания [4, с. 229-230].

Тема 2.2. Методы и средства ограничения токов короткого замыкания [2, с. 196-220].

Изучить ограничения токов короткого замыкания на землю [2, с. 230-240].

Научиться строить векторные диаграммы токов и напряжений при сложных повреждениях [4, с. 127-132].

Трансформация и распределение токов и напряжений (переход через трансформатор при различных группах соединения его обмоток) [4, с. 109-119].

Тема 2.3. Выучить соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке [2, с. 122-125].

Изучить соотношения токов однофазного и трехфазного коротких замыканий [2, с. 195-200].

3. (Раздел 6,7). Переходные процессы при особых условиях. Уровни мощностей и токов коротких замыканий.

Тема 3.1. Расчёт синхронных и асинхронных электродвигателей при расчёте токов короткого замыкания в сетях до 1000 В [2, с. 148-155].

Тема 3.2. Компенсация ёмкостного тока в сетях с изолированной нейтралью [4, с. 147-152].

Изучить особенности расчёта токов короткого замыкания в системе собственных нужд электростанций [4, с. 97-100].

4. (Раздел 9,10,11). Общие сведения об электромеханических переходных процессах в системах электроснабжения. Практические критерии и методы расчета устойчивости. Переходные процессы в узлах нагрузки.

Тема 4.1. Схемы замещения синхронной машины для определения переходных и сверхпереходных реактивностей [4, с. 80].

Преобразование трёхфазной машины в двухфазную [4, с. 18-25].

Тема 4.2. Влияние АРВ-генераторов на установившийся режим работы при КЗ [4, с. 81-83].

Расчёт трехфазного КЗ синхронной машины аналитическим методом [4, с. 83-85].

Контроль качества проработки тем самостоятельной подготовки - предоставление конспекта объёмом 3-6 страниц по каждой теме.

Все студенты должны в течение 6,7-го семестра самостоятельно изучить представленные выше темы.

3. МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ

Для лучшего усвоения вопросов, рассматриваемых на практических занятиях, предусмотрено самостоятельное решение задач. Задачи выдаются преподавателем в конце практического занятия согласно графику учебного процесса. Форма отчётности - наличие решённых задач, правильность выполнения которых проверяет преподаватель. Для самостоятельного решения рекомендуется использовать [1, 4, 5, 10]. Примерный перечень практических задач для самостоятельного решения по разделам приведен в табл. 1.2.

Тема 1.1.

Получить формулу для приведения к базисной ступени в именованных единицах сопротивления X , заданного в именованных единицах.

Получить формулу для приведения к базисной ступени в именованных единицах сопротивления X , заданного в относительных единицах, при известных u_n, I_n .

Получить формулу для приведения к базисной ступени в именованных единицах сопротивления X , заданного в % к номиналу, при известных u_n, S_H .

Получить формулу для приведения к базисной ступени в именованных единицах сопротивления X , заданного в % к номиналу, при известных u_n, I_n .

Тема 1.2.

Получить формулу для приведения к базисной ступени в относительных единицах сопротивления X , заданного в именованных единицах.

Получить формулу для приведения к базисной ступени в относительных единицах сопротивления X , заданного в относительных единицах (к номиналу), при известных u_n, S_H .

Получить формулу для приведения к базисной ступени в относительных единицах сопротивления X , заданного в относительных единицах (к номиналу), при известных u_n, I_n .

Получить формулу для приведения к базисной ступени в относительных единицах сопротивления X , заданного в % (к номиналу), при известных

Задача. Для схемы электрической системы составить схему замещения и рассчитать её параметры с «приближённым» приведением их значений к одной ступени напряжения.

Тема 1.3.

Построить расчётную схему и преобразовать её к виду, удобному для расчёта токов трехфазного КЗ.

Построить во времени ток переходного процесса после трехфазного КЗ, если доаварийный режим - холостой ход, $E = 1$, $x = 1$ для $a = 0$ и $\pi/2$.

Построить во времени ток переходного процесса после трехфазного КЗ, если $E_c = 1,44$, $x = 1$, $r = 1$ для $a = 0$ и $a = \pi/2$.

Тема 1.4.

Методом типовых кривых определить переходный процесс в точке КЗ при трёхфазном КЗ.

Определить сверхпереходный и установившийся ток трёхфазного КЗ в точке КЗ схемы при наличии и отсутствии АРВ.

Определить сверхпереходный и ударный ток от элементов нагрузки при трёхфазном КЗ на питающих шинах.

Тема 2.2.

Построить схемы прямой, обратной и нулевой последовательностей для элементов $t = 0$ и $t = \infty$ (АРВ отсутствует).

Методом расчётных кривых определить переходный процесс в точке КЗ при однофазном КЗ в заданной схеме.

Рассчитать сверхпереходный и установившийся ток в точке КЗ при однофазном КЗ в заданной схеме.

Тема 2.4.

Сравнить по тяжести различного вида короткие замыкания в заданной схеме.

Методом типовых кривых рассчитать переходный процесс в точке КЗ при двухфазном КЗ на землю в заданной схеме.

Построить комплексную схему для расчёта двухфазного КЗ на землю (сверхпереходный режим).

Тема 3.1.

Порядок расчета переходных процессов в сетях с напряжением до 1 кВ.

Тема 3.2.

Отличия простого замыкания на землю от однофазного КЗ. Последствия простого замыкания. Особенности расчёта тока простого замыкания. Средства для уменьшения тока простого замыкания.

Рассчитать ток трехфазного КЗ на стороне НН в заданной схеме.

Задачи для самостоятельной проработки

Задача 3.1

При трехфазном КЗ в узле 9 вычислить начальное значение периодической составляющей тока КЗ в линии W1 (рис. 3.1). Построить кривые изменения тока во времени ($t = 0-0,02$ с) для узла КЗ.

Исходные данные

G1, G2: $S_{ном} = 40$ МВА; $x'' = 0,153$. G3, G4: $S_{ном} = 50$ МВА; $x'' = 0,16$. GS1: $S_{GSI} = 1200$ МВА; $X_{GSI} = 0,23$. T1-T4: $S_{ном} = 80$ МВА; $U_k = 11\%$. T5, T6:

$S_{ном} = 40$ МВА; $U_{к,вс} = 11\%$; $U_{к,вн} = 22\%$; $U_{к,сн} = 9,5\%$. LR: РБД-10-2500-0,29. W1: $l = 40$ км; $X_{\Pi} = 0,420$ Ом/км; W2: $l = 90$ км; $X_{\Pi} = 0,435$ Ом/км; W3: $l = 70$ км; $X_{\Pi} = 0,420$ Ом/км; W4: $l = 50$ км; $X_{\Pi} = 0,420$ Ом/км. Нагрузки: $S_{н1} = 30$ МВ А; $S_{н2} = 25$ МВА.

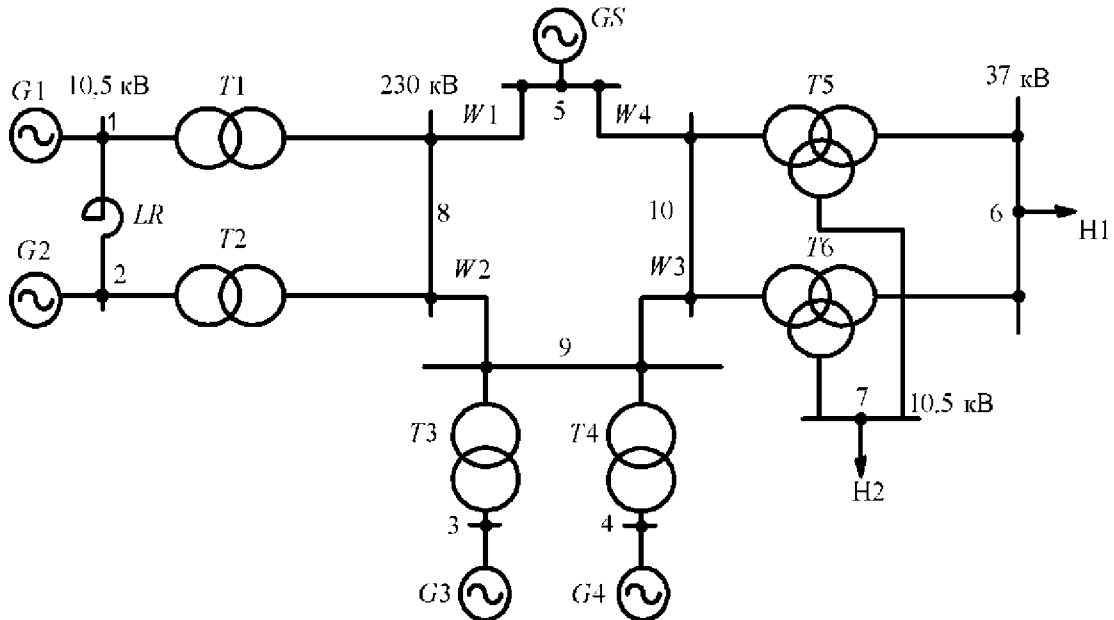


Рис. 3.1.

Задача 3.2

При трехфазном КЗ в узле 9 вычислить начальное значение периодической составляющей тока КЗ через 0,2 с после возникновения КЗ (рис. 3.2).

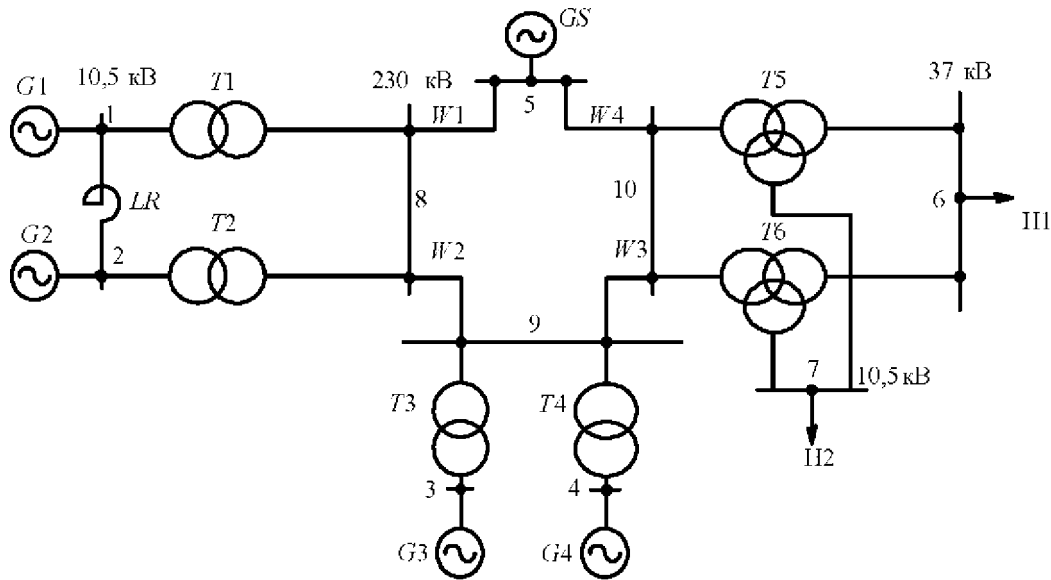


Рис.3.2.

Исходные данные

$G1, G2: S_{ном} = 78,75 \text{ МВА}; x'' = 0,153.$ $G3, G4: S_{ном} = 50 \text{ МВА}; x'' = 0,16.$

$GS1: S_{GS1} = 850 \text{ МВА}; x_{(l)GS1} = 0,25.$ $T1-T4: B_{ПМ} = 80 \text{ МВА}; U_k = 11 \%. T5, T6: S_{ном} = 40 \text{ МВА}; U_{квс} = 11 \%; U_{квн} = 22 \%; u_{к,сн} = 9,5 \%. LR: \text{РБДГ-10-4000-0,18. } W1: l = 100 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,429 \text{ Ом/км}; W2: l = 30 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,420 \text{ Ом/км}; W3: l = 70 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,435 \text{ Ом/км}; W4: l = 20 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,420 \text{ Ом/км.}$ Нагрузка: $S_{н1} = 40 \text{ МВА}; S_{н2} = 20 \text{ МВА}.$

Задача 3.3

При трехфазном КЗ в узле 6 электроэнергетической системы, представленной на рис. 3.3, вычислить начальное значение периодической составляющей тока КЗ в линии W1.

Исходные данные

$G1, G2: S_{ном} = 78,75 \text{ МВА}; x''_d = 0,153.$ $GS: S_{GS} = 900 \text{ МВА}; x_{(l)GS} = 0,21.$ $T1, T2: S_{н} = 80 \text{ МВА}; U_k = 11 \%. T3, T4: S_{ном} = 25 \text{ МВА}; U_{квс} = 10,5 \%; U_{квн} =$

17,5 %; $U_{кчн} = 6,5$ %. $AT1,2$: $S_{ном} = 200$ МВА; $U_{квс} = 11\%$; $U_{квн} = 32$ % ; $u_{к,сн} = 20$ %. $W1$: $l = 130$ км; $X_{\Pi} = 0,429$ Ом/км; $W2$: $l = 60$ км; $X_{\Pi} = 0,435$ Ом/км; $W3$: $l = 85$ км; $X_{\Pi} = 0,42$ Ом/км. LR : РБДГ-10-2500-0,20. Нагрузки 1-3: $S_{H1} = 100$ МВ А, $S_{H2} = 30$ МВ А, $S_{H3} = 20$ МВ А.

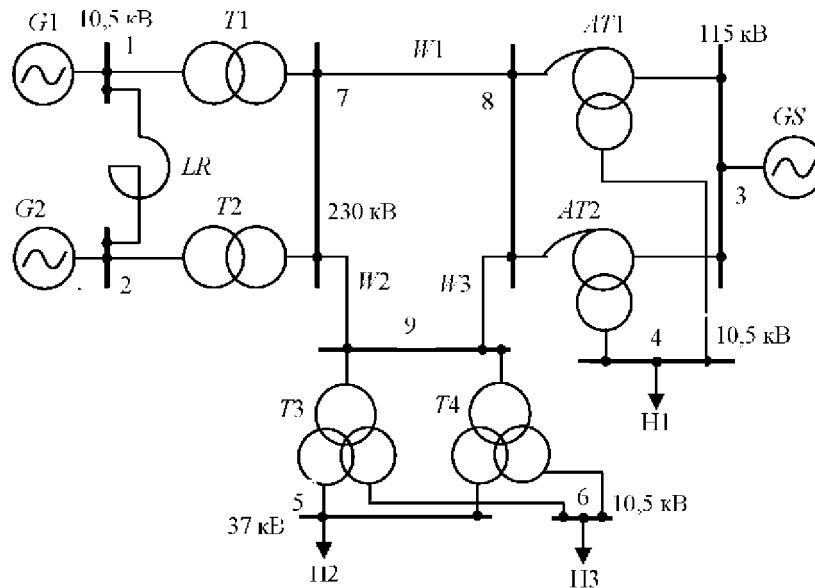


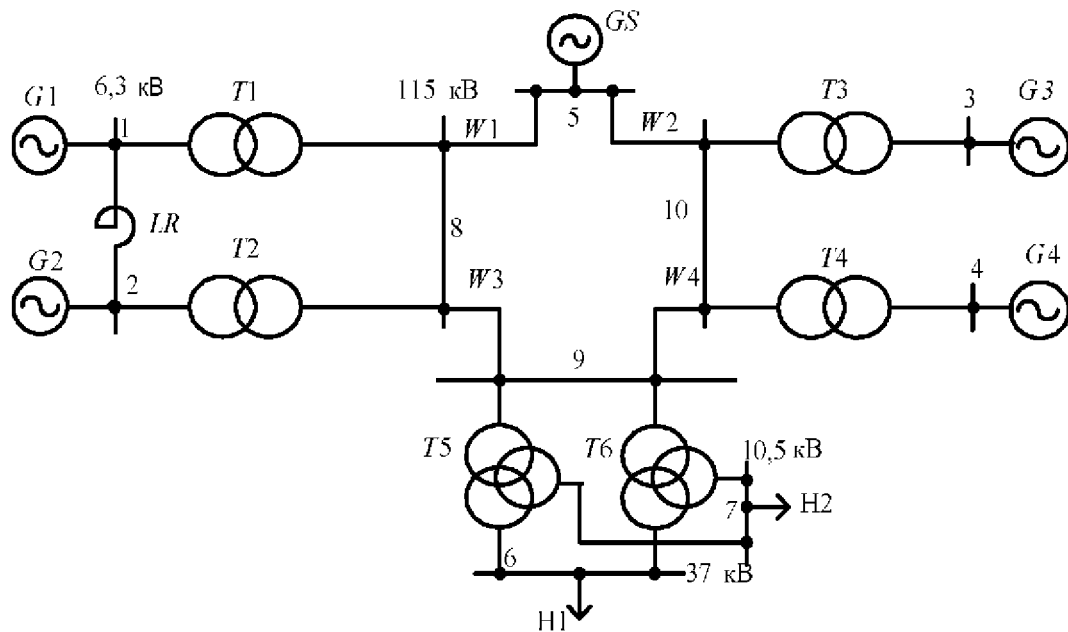
Рис. 3.3.

Задача 3.4

При трехфазном КЗ в узле 8 электроэнергетической системы, представленной на рис. 3.4, вычислить значение периодической составляющей тока КЗ через 0,3 с после возникновения КЗ.

Исходные данные

$G1, G2$: $S_H = 40$ МВА; $x'' = 0,143$. $G3, G4$: $S_H = 50$ МВА; $x''_d = 0,16$. GS : $S_{GS} = 1100$ МВА; $x_s = 0,24$. $T1, T2$: $S_H = 40$ МВА; $U_k = 10,5$ %. $T3, T4$: $S_H = 80$ МВА; $U_k = 11\%$. $T5, T6$: $S_{ном} = 80$ МВА; $U_{квс} = 11\%$; $U_{квн} = 18,5$ % ; $U_{кчн} = 7$ %. LR : РБД-10-2500-0,20. $W1$: $l = 40$ км; $x_{(1)} = 0,405$ Ом/км; $W2$: $l = 30$ км; $x_{(1)} = 0,358$ Ом/км; $W3$: $l = 15$ км; $x_{(1)} = 0,365$ Ом/км; $W4$: $l = 25$ км; $x_{(1)} = 0,377$ Ом/км. Нагрузка: $S_{H1} = 60$ МВА; $S_{H2} = 50$ МВА.



Задача 3.5

При трехфазном КЗ в узле 2 электроэнергетической системы (рис. 3.5) вычислить значение ударного тока КЗ.

Исходные данные

G1, G2: $S_{НОМ} = 78,75$ МВА; $U_H = 6,3$ кВ; $X'_d = 0,203$. G3: $S_{НОМ} = 125$ МВА; $U_{НОМ} = 10,5$ кВ; $X'_d = 0,192$. GS1: $S_{gs1} = 600$ МВА; $X_1 = 0,3$. GS2: $S_{gs2} = 1100$ МВА; $X_{(1)} = 0,23$. T1, T2: $S_H = 80$ МВА; $U_K = 11\%$. T3: $S_H = 125$ МВА; $U_K = 11\%$. AT: $S_{НОМ} = 125$ МВА; $U_{КВС} = 11\%$; $U_{КВН} = 35\%$; $U_{КСН} = 22\%$. LR: РБДГ-10-4000-0,18. W1 = 35 км; $X_{П} = 0,405$ Ом/км; W2 = 100 км; $X_{П} = 0,435$ Ом/км. НАГРУЗКА: $S_H = 50$ МВА.

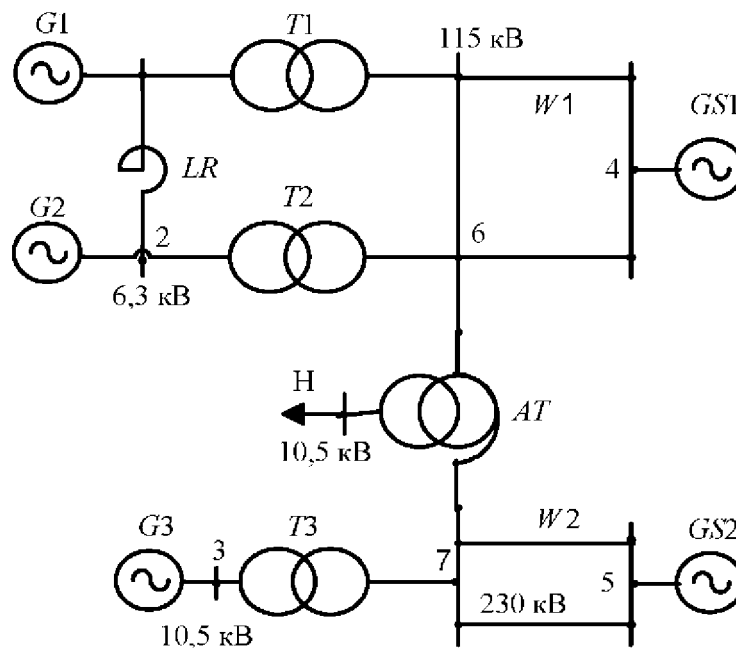


Рис.3.5.

Задача 3.6

При трехфазном КЗ в узле 9 электроэнергетической системы, представленной на рис. 3.6, вычислить значение периодической составляющей тока КЗ через 0,15 с после возникновения КЗ.

Исходные данные

$G1, G2$: $S_H = 40 \text{ МВ-А}$; $U_H = 6,3 \text{ кВ}$; $x'' = 0,143$. $G3, G4$: $S_{НОМ} = 125 \text{ МВА}$; $U_H = 10,5 \text{ кВ}$; $x'' = 0,192$. GS : $S_{gs} = 1000 \text{ МВА}$; $x_{да} = 0,25$. $T1, T2$: $S_{НОМ} = 40 \text{ МВА}$; $U_K = 10,5\%$. $T3, T4$: $S_{НОМ} = 125 \text{ МВ-А}$; $U_K = 11\%$. $T5, T6$: $S_{НОМ} = 80 \text{ МВ-А}$; $U_{КВС} = 11\%$; $U_{КВН} = 18,5\%$; $U_{КСН} = 7\%$. LR : РБД-10-2500-0,20. $W1$: $l = 30 \text{ км}$; $X_{\Pi} = 0,405 \text{ Ом/км}$; $W2$: $l = 40 \text{ км}$; $X_{\Pi} = 0,358 \text{ Ом/км}$; $W3$: $l = 20 \text{ км}$; $X_{\Pi} = 0,365 \text{ Ом/км}$; $W4$: $l = 25 \text{ км}$; $X_{\Pi} = 0,377 \text{ Ом/км}$.

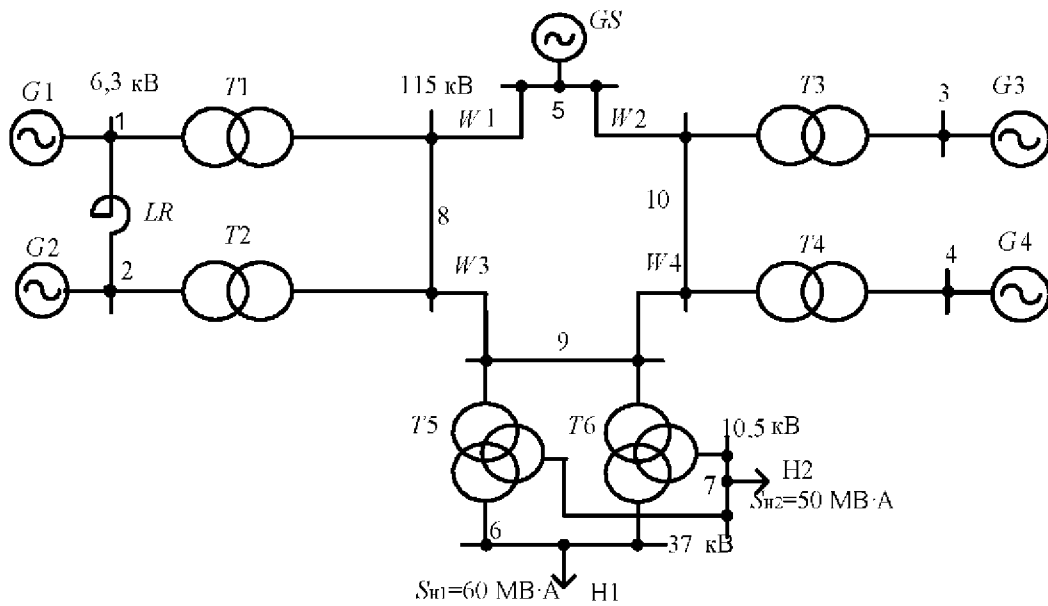


Рис. 3.6.

Задача 3.7

При трехфазном КЗ в узле 9 электроэнергетической системы (рис. 3.7) вычислить начальное значение периодической составляющей тока КЗ в линии W_1

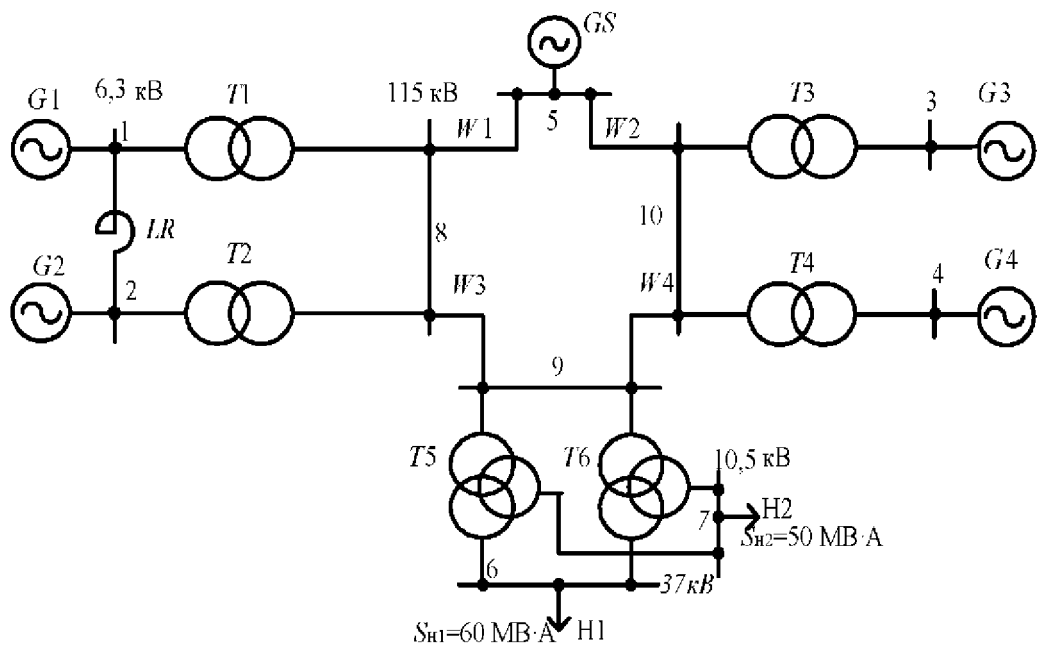


Рис. 3.7.

Исходные данные

$G1, G2: S_{ном} = 40 \text{ МВА}; U_H = 6,3 \text{ кВ}; x'' = 0,143.$ $G3, G4: S_{ном} = 78,75 \text{ МВА}; U_{ном} = 6,3 \text{ кВ}; x_d = 0,203.$ $GS: S_{GS} = 1500 \text{ МВА}; X_c = 0,19.$ $T1, T2: S_{ном} = 40 \text{ МВА}; u_K = 10,5 \text{ \%}.$ $T3, T4: S_{ннм} = 80 \text{ МВА}; u_K = 11 \text{ \%}.$ $T5, T6: S_{ном} = 80 \text{ МВА}; u_{к,вс} = 11 \text{ \%}; u_{к,вн} = 18,5 \text{ \%}; u_{к,сн} = 7 \text{ \%}.$ $LR: \text{РБД-10-2500-0,20}.$ $W1: l = 20 \text{ км}; x_{(1)} = 0,3580 \text{ Ом/км};$ $W2: l = 50 \text{ км}; x_{(1)} = 0,377 \text{ Ом/км};$ $W3: l = 30 \text{ км}; x_{(1)} = 0,365 \text{ Ом/км};$ $W4: l = 60 \text{ км}; x_{(1)} = 0,405 \text{ Ом/км}$

Задача 3.8

При трехфазном КЗ в узле 5 вычислить значение ударного тока КЗ, начальное значение периодической составляющей тока КЗ в линии $W2$ (рис. 3.8).

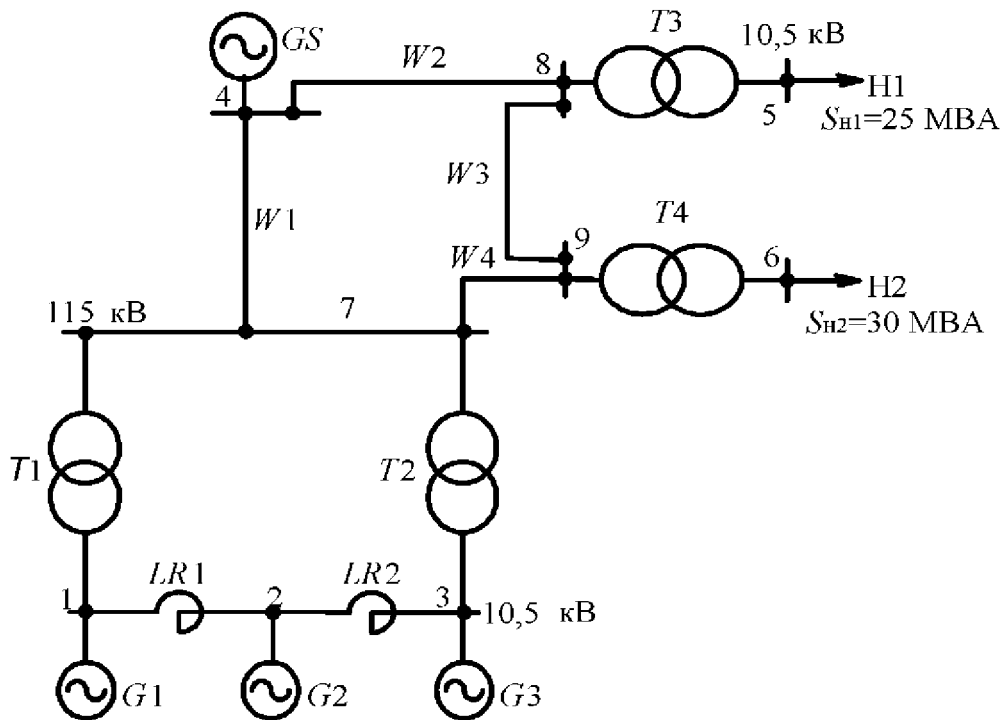


Рис.3.8.

Исходные данные

$G1, G3: S_{ном} = 78,75 \text{ МВА}; x'' = 0,153.$ $G2: S_H = 40 \text{ МВА}; x''_d = 0,153.$ $GS: S_{GS} = 500 \text{ МВА}; X_{(1)GS} = 0,37.$ $T1, T2: S_H = 80 \text{ МВА}; U_k = 11 \text{ \%}.$ $T3, T4: S_H = 40 \text{ МВА}; U_k = 10,5 \text{ \%}.$ $LR1, LR2: \text{РБДГ-10-2500-0,35}.$ $W1: l = 20 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,405 \text{ Ом/км};$ $W2: l = 40 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,358 \text{ Ом/км};$ $W3: l = 10 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,377 \text{ Ом/км};$ $W4: l = 25 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,365 \text{ Ом/км}.$

Задача 3.9

При трехфазном КЗ в узле 5 вычислить значение ударного тока КЗ, начальное значение периодической составляющей тока КЗ в линии $W3$ (рис. 3.9).

Исходные данные

$G1, G2, G3: S_{НОМ} = 40 \text{ МВ А}; x''_d = 0,153. GS: S_{GS} = 900 \text{ МВА}; x_{GS} = 0,27. T1, T2: S_n = 80 \text{ МВ А}; u_K = 11 \%. T3, T4: S_n = 25 \text{ МВА}; u_K = 10,5 \%. LR1, LR2: РБДГ-10-2500-0,35. W1: I = 50 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,358 \text{ Ом/км}; W2: I = 35 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,377 \text{ Ом/км}; W3: I = 10 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,405 \text{ Ом/км}; W4: I = 25 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,365 \text{ Ом/км}. Нагрузки в узлах 5-8 по 10 МВ А.$

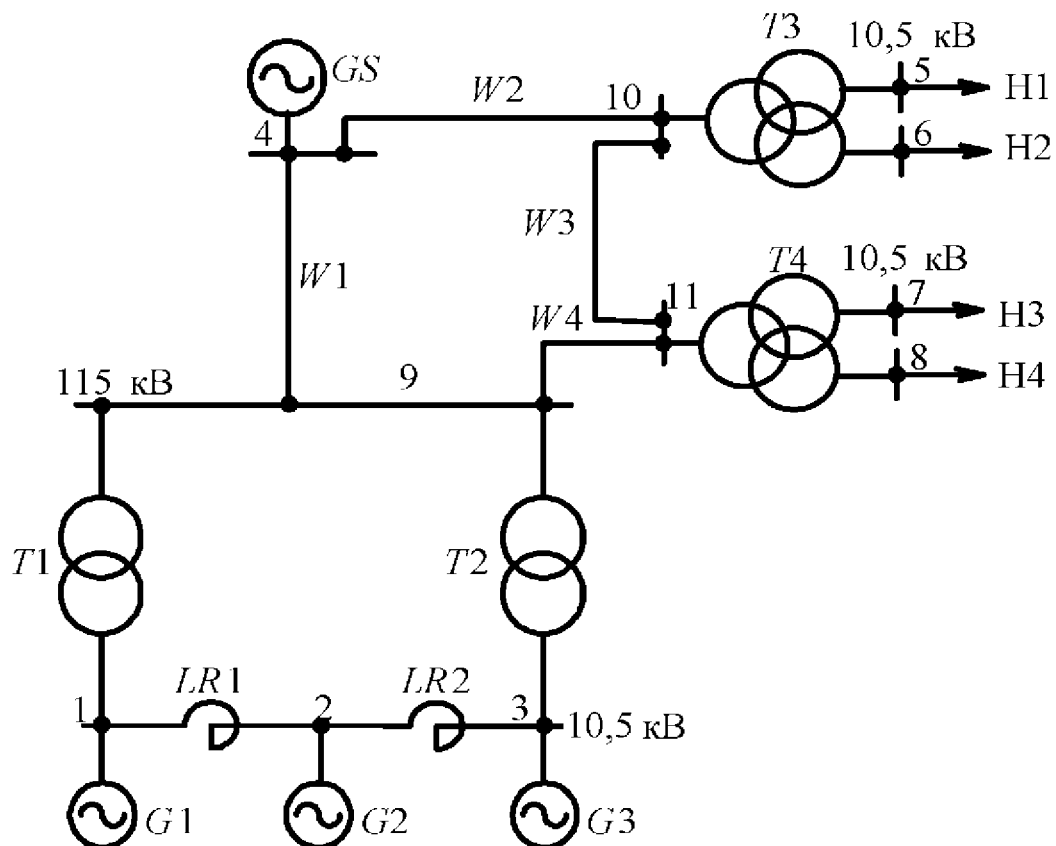


Рис.3.9.

Задача 3.10

При трехфазном КЗ в узле 2 вычислить значение ударного тока КЗ. Начальное значение периодической составляющей тока КЗ в линии $W3$ приведено на рис. 3.10.

Исходные данные

G1-G3: $S_H = 40$ МВА; $x'' = 0,153$. G4, G5: $S_H = 125$ МВА; $x'' = 0,192$. GS: $S_{GS} = 800$ МВА; $x_{wGS} = 0,31$. T1, T2: $S_H = 80$ МВА; $U_K = 11\%$, T3, T4: $S_H = 125$ МВА; $U_K = 11\%$; LR1, LR2: РБДГ-10-2500-0,35. W1: $l = 25$ км; $x_{(1)} = 0,358$ Ом/км; W2: $l = 40$ км; $x_{(1)} = 0,377$ Ом/км, W3: $l = 50$ км; $x_{(1)} = 0,365$ Ом/км.

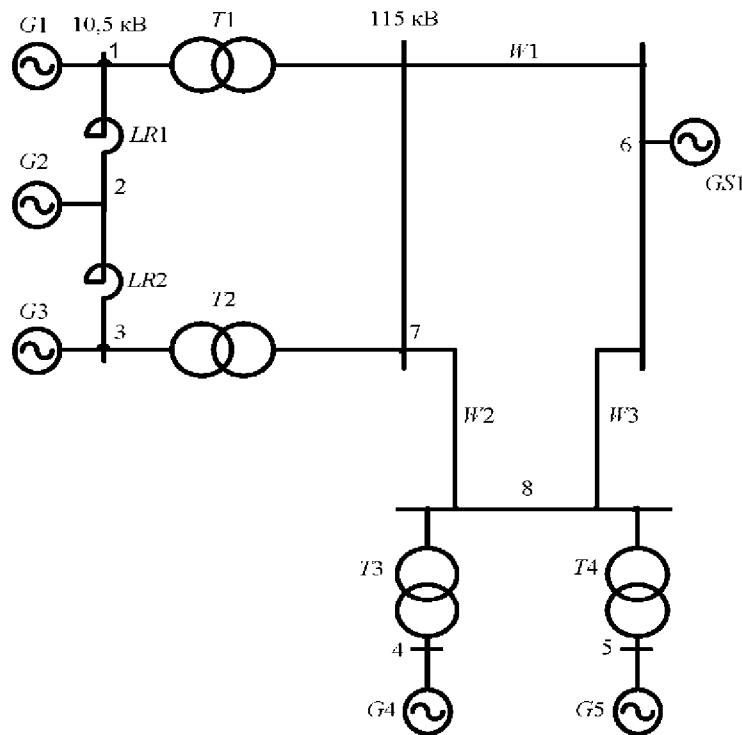


Рис.3.10.

Задача 3.11

При трехфазном КЗ в узле К электроэнергетической системы (рис. 3.11) вычислить начальное значение периодической составляющей тока КЗ в линии $W1$.

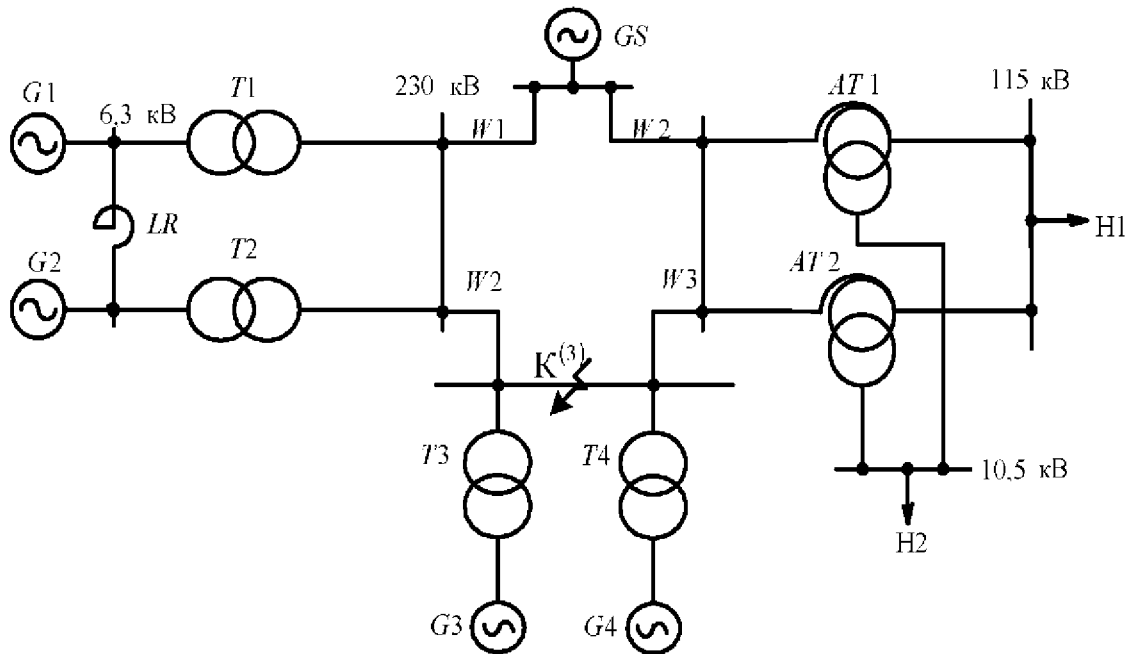


Рис.3.11.

Исходные данные

$G1, G2: S_H = 78,75 \text{ МВ-А}; x''_D = 0,203. G3, G4: S_H = 100 \text{ МВ-А}; x_D = 0,22. GS: S_{gs} = 1200 \text{ МВА}; X_{gs} = 0,21. T1, T2: S_{НОМ} = 80 \text{ МВ-А}; U_K = 11 \%. T3, T4: S_{НОМ} = 125 \text{ МВ-А}; U_K = 11 \%; AT: S_{НОМ} = 200 \text{ МВ-А}; U_{КВС} = 11 \%; U_{КВН} = 32 \%; U_{К,СН} = 20 \%. LR: \text{РБД-10-2500-0,20}. W1: L = 50 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,420 \text{ Ом/км}; W2: L = 70 \text{ км}; X_{\Pi} = 0,420 \text{ Ом/км}. \text{НАГРУЗКИ: } S_{H1} = 120 \text{ МВ-А}; S_{H2} = 70 \text{ МВА}.$

Задача 3.12

При трехфазном КЗ в узле К вычислить начальное значение периодической составляющей тока КЗ в реакторе $LR1$ (рис. 3.12).

Исходные данные

$G1-G3: S_{НОМ} = 40 \text{ МВА}; x'' = 0,143. G4: S_H = 125 \text{ МВА}; x''_d = 0,192. GS1: S_{GS1} = 500 \text{ МВА}; X_{gs1} = 0,35. GS2: S_{GS2} = 1000 \text{ МВА}; X_{gs2} = 0,23. T1, T2: S_{НОМ} = 80 \text{ МВА}; u_K = 11 \%. T3: S_{НОМ} = 125 \text{ МВА}; u_K = 11 \%. AT: S_{НОМ} = 63 \text{ МВА}; u_{К,ВС} = 11 \%; u_{К,ВН} = 35 \%; u_{К,СН} = 22 \%. LR1, LR2: \text{РБДГ-10-2500-0,20}. W1: \text{двух-}$

цепная $l = 35$ км; $X_{\Pi} = 0,377$ Ом/км; $W2$: двухцепная $l = 70$ км; $X_{\Pi} = 0,42$ Ом/км. Нагрузка: $S_H = 30$ МВА.

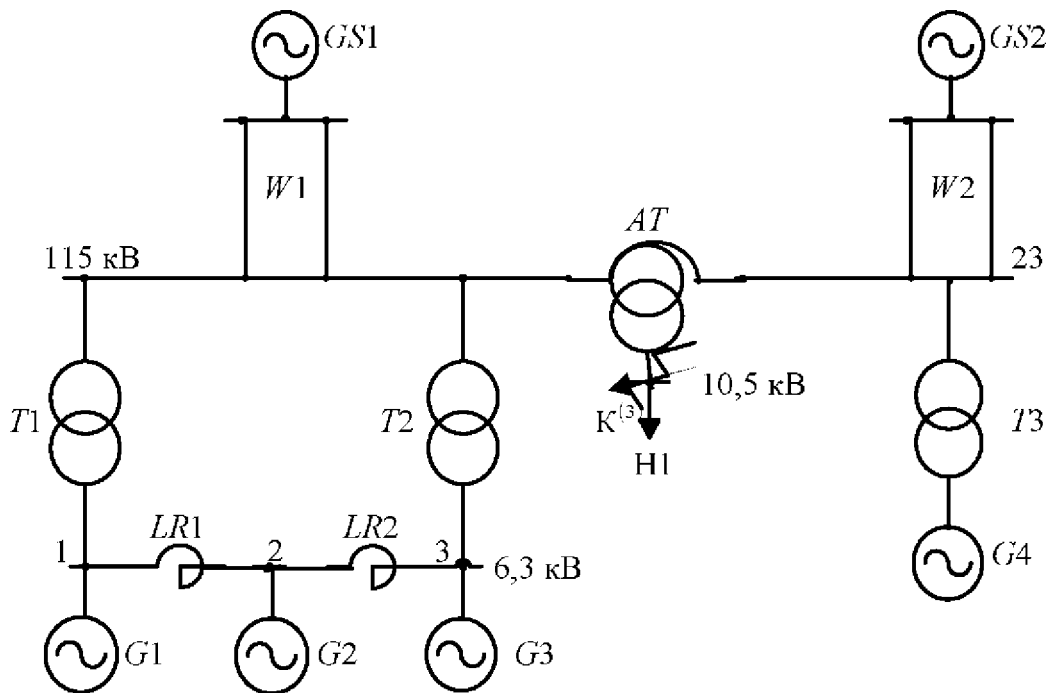


Рис.3.12.

Задача 3.13

При трехфазном КЗ в узле 4 электроэнергетической системы, представленной схемой электрических соединений на рис. 3.13, вычислить начальное значение периодической составляющей тока КЗ в линии $W1$.

Исходные данные

$G1, G2$: $S_{ном} = 78,75$ МВА $U_H = 10,5$ кВ; $x'' = 0,136$. GS : $S_{GS} = 1500$ МВА; $x_{да} = 0,25$. GC : $S_{ном} = 75$ МВА; $x'' = 0,23$. $T1, T2$: $S_H = 80$ МВА; $U_k = 11$ %; $K_{T1,2} = 10,5/121$. $T3, T4$: $S_H = 125$ МВА; $U_k = 10,5$ %; $K_{T3,4КПА} = 110/11$. $AT1,2$: $S_H = 125$ МВА; $K_T = 230/121/11$; $u_{к,вс} = 11$ %; $u_{к,вн} = 45$ %; $u_{к,сн} = 28$ %. LR : РБДГ-10-2500-0,35. $W1$: $l = 30$ км; $X_{\Pi} = 0,42$ Ом/км; $W2$: $l = 20$ км; $X_{\Pi} = 0,405$ Ом/км; $W3$: $l = 40$ км; $X_{\Pi} = 0,413$ Ом/км.

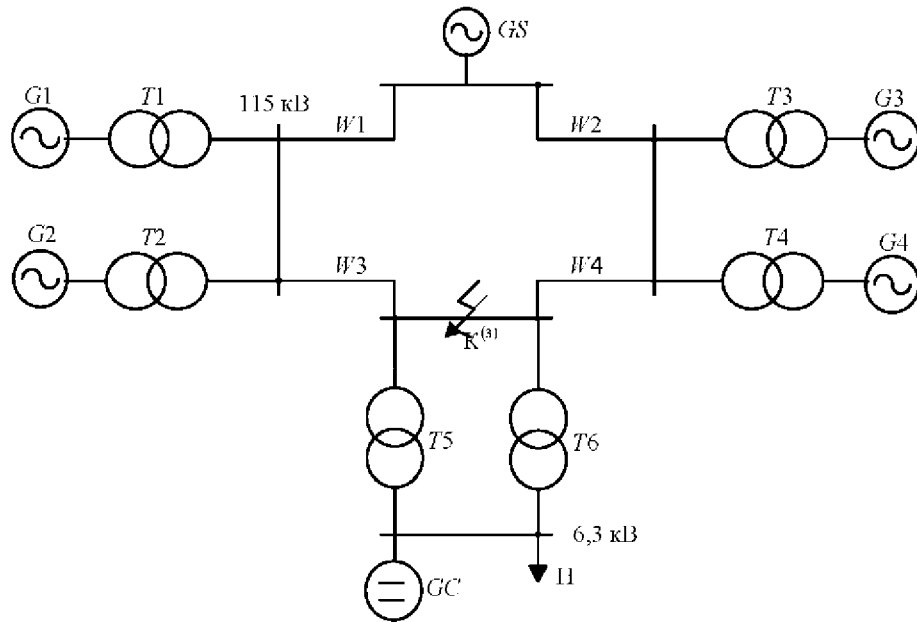


Рис.3.14

Задача 3.15

При трехфазном КЗ в узле К вычислить начальное значение периодической составляющей тока КЗ в линии W1 (рис. 3.15).

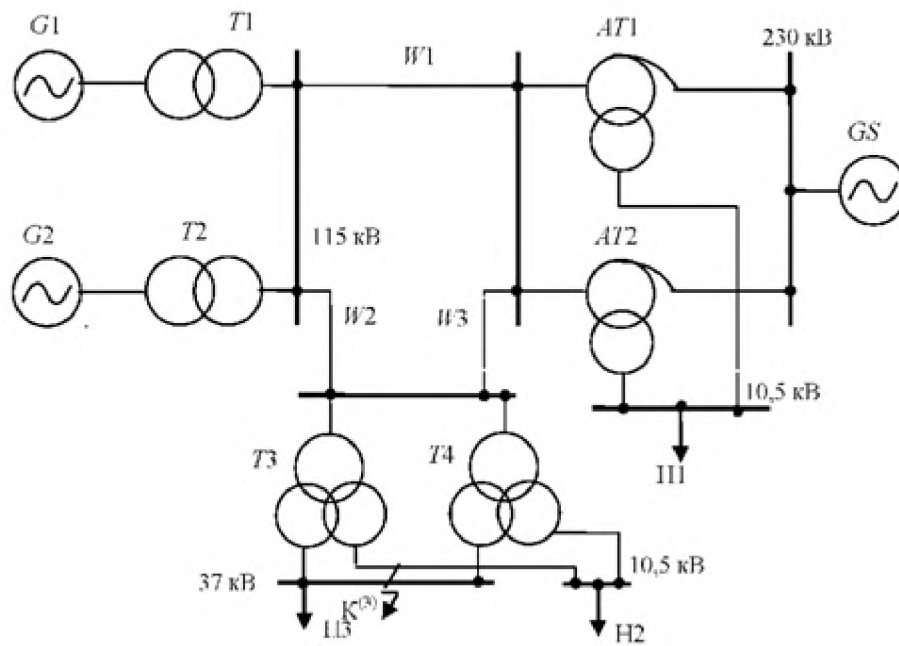


Рис.3.15

Задача 3.16

При трехфазном КЗ в узле К вычислить начальное значение периодической составляющей тока КЗ в линии W1 (рис. 3.16).

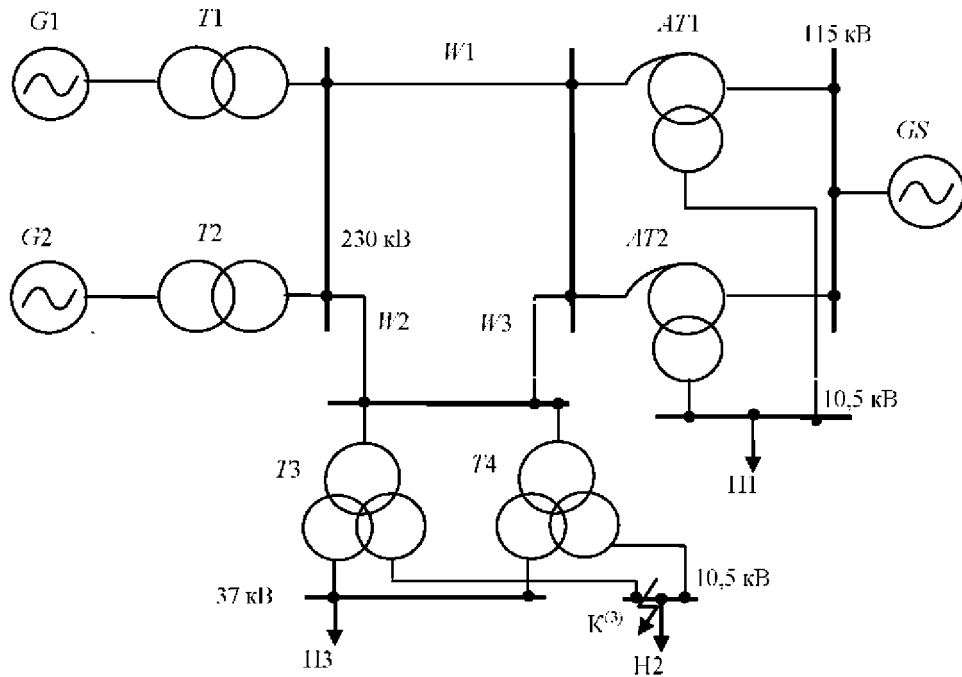


Рис.3.16

Исходные данные

$G1, G2: S_{ном} = 100 \text{ МВА}; x'' = 0,22$. $GS: S_{GS} = 500 \text{ МВА}; x_{GS} = 0,35$. $T1, T2: S_{ном} = 125 \text{ МВА}; U_k = 11 \%$. $T3, T4: S_{ном} = 40 \text{ МВА}; u_{к,вс} = 11 \%; u_{к,вн} = 22 \%; u_{к,сн} = 9,5 \%$. $AT1,2: S_{ном} = 125 \text{ МВА}; u_{к,вс} = 11 \%; u_{к,вн} = 45 \%; u_{к,сн} = 28 \%$. $W1: l = 90 \text{ км}; x_{(1)} = 0,42 \text{ Ом/км}$; $W2: l = 70 \text{ км}; x_{(1)} = 0,435 \text{ Ом/км}$; $W3: l = 50 \text{ км}; x_{(1)} = 0,429 \text{ Ом/км}$. Нагрузки 1-3: $S_{н1} = 60 \text{ МВА}; S_{н2} = 25 \text{ МВА}; S_{н3} = 30 \text{ МВА}$.

Задача 3.17

При трехфазном КЗ в узле 1 электроэнергетической системы, представленной на рис. 3.17, определить значение периодической составляющей тока КЗ через 0,35 с от начала КЗ.

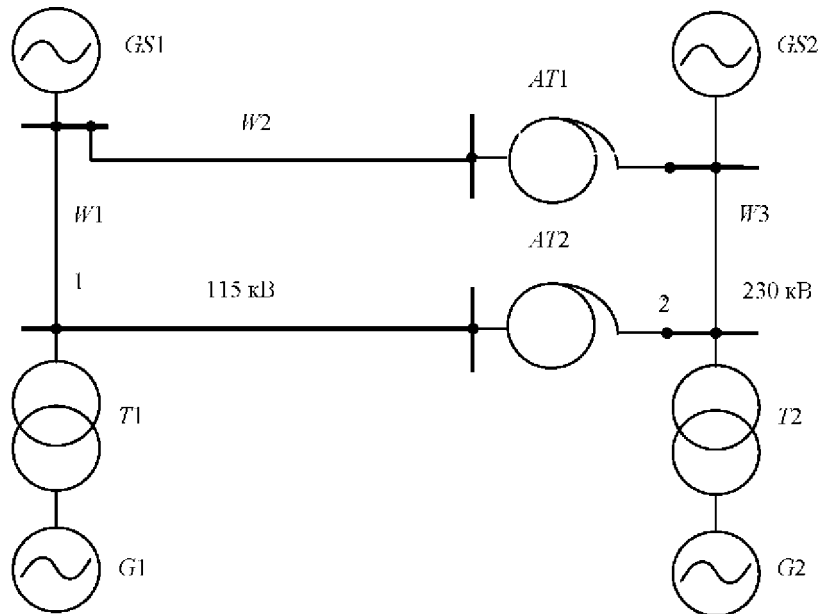


Рис.3.17.

Исходные данные

G1: $S_{НОМ} = 100$ МВА; $U_H = 13,8$ кВ; $x''_A = 0,22$. G2: $S_H = 188$ МВА $U_H = 18$ кВ; $x''_D = 0,213$. GS1: $S_{g1} = 1200$ МВА; $x_{(0)} = 0,27$. GS2: $S_{g2} = 2100$ МВА; $x_{(0)} = 0,19$. T1: $S_{НОМ} = 125$ МВА; $U_K = 10,5$ %. T2: $S_{НОМ} = 200$ МВА; $U_K = 11$ %. AT1,2: $S_{НОМ} = 250$ МВА; $U_{K,BC} = 11$ %; $U_{K,ВН} = 32$ %; $U_{K,СН} = 20$ %. W1: $L = 35$ км; $X_{П} = 0,413$ Ом/км; W2: $L = 25$ км; $X_{П} = 0,42$ Ом/км; W3: $L = 100$ км; $X_{П} = 0,429$ Ом/км.

Задача 3.18

При двухфазном КЗ в узле 4 электроэнергетической системы, представленной на рис. 3.18, построить векторные диаграммы напряжений в уз-

лах 4 и 6. Схему и группу соединений обмоток трансформатора Т4 принять вида $Y_H/\Delta-11$.

Исходные данные

G1, G2 : $S_H = 78,75 \text{ МВА}$; $x'' = 0,153$; $x_2 = 0,186$. GS: $S_{GS} = 900 \text{ МВА}$; $x_0 = 0,27$. T1, T2: $S_{НОМ} = 80 \text{ МВА}$; $U_K = 10,5 \%$. T3: $S_H = 63 \text{ МВА}$; $U_K = 10,5 \%$. T4: $S_H = 16 \text{ МВА}$; $U_K = 10,5 \%$. LR: РБДГ-10-2500-0,35. W1: $l = 10 \text{ км}$; $X_{\Pi} = 0,365 \text{ Ом/км}$; W2: $l = 35 \text{ км}$; $X_{\Pi} = 0,377 \text{ Ом/км}$; W3: $l = 20 \text{ км}$; $X_{\Pi} = 0,369 \text{ Ом/км}$; W4: $l = 15 \text{ км}$; $X_{\Pi} = 0,358 \text{ Ом/км}$.

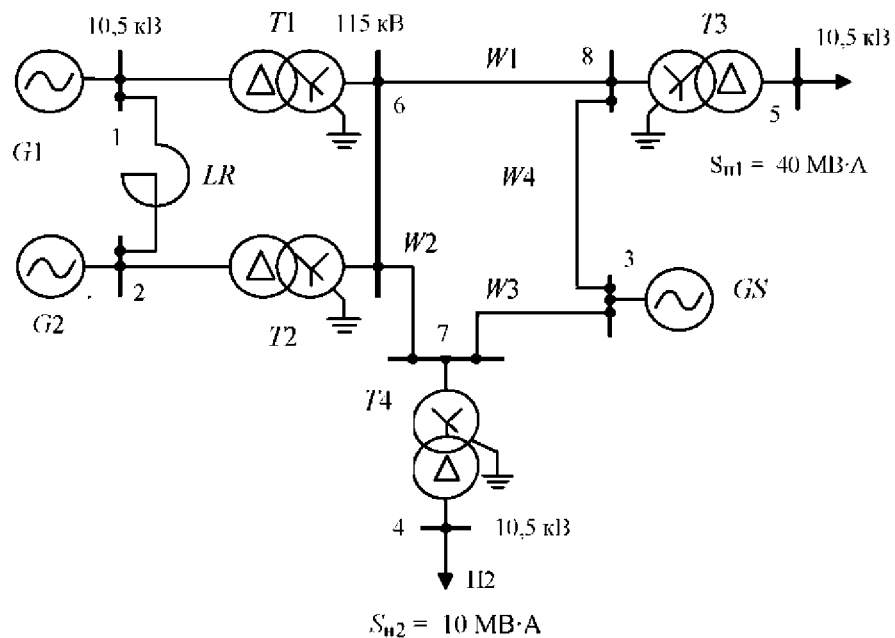


Рис.3.18.

4. МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Одним из видов самостоятельной работы является выполнение курсовой работы (КР), которая рассчитана на 36 часов.

Цель курсовой работы - закрепить и систематизировать знания, полученные по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах», а также в смежных дисциплинах; научить студентов применять эти знания при решении инженерных задач; привить им навыки самостоятельной творческой работы.

В процессе выполнения данной работы приобретаются навыки определения величины периодической слагающей аварийного тока при трехфазном коротком замыкании в начальный момент переходного процесса и для любого момента времени, вычисление ударного тока. Рассматриваются основные положения в исследовании несимметричных переходных процессов при однократной поперечной несимметрии. Закрепляются знания, полученные при изучении курса лекций и при решении задач на практических занятиях.

4.1. Структура курсовой работы

Тема курсовой работы – «Расчет токов коротких замыканий в электроэнергетических системах».

В курсовой работе расчет состоит из двух разделов.

Раздел 1. Определение величины аварийного тока в момент внезапного нарушения режима и для заданного времени при трехфазном коротком замыкании. В этом же разделе вычисляется ударный ток.

Раздел 2. При заданном виде поперечной несимметрии для начального момента времени переходного процесса определяются ток и напряжение в аварийном узле и в индивидуально заданных элементах. Производится построение векторной диаграммы тока в заданном элементе и диаграммы напряжения для индивидуального узла.

Курсовая работа выполняется в пятом семестре.

Графическая часть – не предусмотрена.

Варианты заданий приведены в методических указаниях к курсовой работе[9].

Примерный график выполнения курсовой работы представлен в табл.4.1.

Таблица 4.1

№п/п	Вид работы	№ неде- ли	Готов- ность %
1	Получение задания на курсовую работу	1-2	5
2	Составление схемы замещения и расчет ее параметров. Приведение параметров к базисным единицам	3-5	10
3	Расчет токов трехфазного короткого замыкания.	6-7	20
4	Расчет токов несимметричных коротких замыканий. Построение векторных диаграмм токов и напряжений	8-9	40
5	Расчет токов установившегося трехфазного короткого замыкания с учетом действия АРВ генераторов	10-11	70
6	Расчет тока трехфазного короткого замыкания в заданный момент времени от начала аварии	12-14	80
7	Оформление пояснительной записки	15-16	90
8	Защита проекта	17-18	100

4.2. Требования к оформлению курсовой работы

Курсовая работа должна содержать расчетно-пояснительную записку объемом 30-40 страниц.

Расчётно-пояснительная записка должна состоять из титульного листа с названием работы, оригинала задания на проект, оглавления, основного материала, включающего все этапы разработки, основных расчетов и их результатов, анализа результатов расчетов, выводов, описания и обоснования принятых решений, списка использованной литературы и приложений в виде результатов расчетов на ЭВМ.

Записку следует разделить на главы (разделы) и параграфы. План пояснительной записки к работе должен соответствовать плану, по которому выполняют проектные разработки и расчеты. В пояснительной записке поясняют и обосновывают принятые решения. Каждая глава, изложение каждого вопроса в записке начинают с четкой формулировки поставленной задачи. Должны приводиться исходные данные, нормы и требования и намечаться возможные варианты решений. Используя какой-либо метод расчета, студент обязательно приводит расчетные формулы в общем виде, подставляет значения в формулы в строгой последовательности с общим видом и приводит окончательный результат вычислений. Во всех последующих случаях приводят лишь результаты расчётов, сведенные в продуманные удобочитаемые таблицы. Таблицы нумеруют и пишут

наименования. Ко всем результатам расчетов необходимы указания о размерности полученных величин. Каждый раздел должен содержать анализ результатов и выводы. Необходимы ссылки на использованные литературные источники. В конце расчетно-пояснительной записки приводят список литературы, составленный в порядке появления ссылок в тексте, с указанием авторов, места издания, издательства, года издания и числа страниц.

Рисунки должны быть пронумерованы и иметь подрисуночные надписи. Сокращения слов в записке не допускаются, за исключением общепринятых. Материал излагают от первого лица множественного числа, может быть использована неопределенная форма. Листы расчетно-пояснительной записки брошюруют в плотную папку и нумеруют. Раскраска титульного листа и фигурные шрифты не рекомендуются.

Изображения элементов сетей, надписи на чертежах, обозначения размерностей и т. п. должны быть выполнены в соответствии с действующими государственными стандартами и стандартом предприятия [10].

Каждую вычислительную процедуру или объект, представляемый в отчете, предваряют соответствующим предложением, объясняющим ее назначение. Формулы, приводимые с вычислениями, не нумеруют. После подстановки данных в формулу в строгой последовательности записи символов указывают окончательный результат. Промежуточные вычисления опускают. В необходимых случаях расчетные формулы сопровождают дополнительными вычислениями и ссылками. Во всех случаях повторного применения расчетных методов и формул приводят только их результаты в удобочитаемой табличной форме с указанием размерности, со ссылкой или пояснением. В тексте допустимо употреблять формулы без вычислений при их сквозной нумерации.

Количество значащих цифр при вычислениях должно соответствовать требованиям точности расчета и точности исходных данных. Точность расчетов установлена в соответствии с правилами приближенных инженерных вычислений. В большинстве случаев можно рекомендовать употребление трех значащих цифр после запятой. В расчетах обязательно указание единиц измерения без скобок с расстановкой знаков препинания.

Рисунки и таблицы предваряют упоминанием в тексте. Они должны иметь сквозную нумерацию. Кроме номера, внедренные объекты, как правило, сопровождают названиями. Название и номер таблицы указывают сверху, номер рисунка - снизу по оси симметрии. Построение графических зависимостей осуществляют по расчетным значениям и сопровождают в тексте документа таблицами с рассчитанными данными.

Включение в текст документа сторонних данных, таблиц, графиков и иных объектов сопровождают ссылкой на первоисточник, приводимой в наклонных черточках с указанием номера страницы первоисточника, который помещают в списке литературы.

Печать документа осуществляют на лазерном или струйном принтере. Формат бумаги, применяемой для печати текстовой части документа,

выбирают размером 210x297 мм. Устанавливают следующие границы полей текстового документа: верхнего - 15 мм, нижнего - 25 мм, левого - 30 мм, правого - 15 мм. Размер абзацного отступа составляет 12,5 мм. Его выдерживают равным по всему документу. Основной текст выполняют шрифтом Times New Roman Cyr через 1,5 интервала без применения какого-либо выделения. Размер шрифта устанавливают в 12-14 пунктов с выравниванием по обеим границам и автоматической расстановкой переносов. Для выделения важных текстовых фрагментов, выводов и т. п. возможно использование курсивных шрифтов, жирных шрифтов, рамок и др., в том числе шрифта Arial Cyr. Выделения прописными буквами не допускаются. Расположение в тексте пустых строк не допускается, за исключением строк перед заголовками и после них. Высоту пустой строки устанавливают размером 8 пт.

Знаки препинания от предшествующих знаков не отделяют, а от последующих знаков отделяют одним пробелом. Дефис от предшествующих и последующих знаков не отделяют, а тире - отделяют пробелом с обеих сторон. Кавычки и скобки не отделяют от заключенных в них элементов. Знаки препинания от кавычек и скобок не отделяют. Знак процента от числа отделяют пробелом, знаки углового градуса, минуты, секунды от числа не отделяют. К остальным импортированным символам, в том числе специальным, применяют правила, установленные стандартной настройкой графической оболочки, используемой по умолчанию.

Заголовки граф таблиц выравнивают по центру. Для таблиц, расположенных более чем на одном листе, заголовки граф нумеруют. В продолжении таблицы на другом листе вместо заголовков граф проставляют их номера.

Размеры внедренных объектов не должны превышать формата страницы. Если ширина объекта меньше 80 мм, то его располагают с выравниванием по правой границе, а свободное пространство слева подлежит заполнению текстом. Если ширина объекта более 80 мм, его выравнивают по центру и текстом не обрамляют.

При использовании компьютерных средств получения или обработки результатов, а также при компьютерном оформлении работы помимо твердой копии текстового документа обязательно представление электронной копии всех материалов, в исходных форматах, а также электронного документа в окончательной версии.

Применение для публичной защиты материалов в виде презентации, а также использование любых информационных технологий сетевого характера не является основанием для отказа учащегося от представления твердой и электронной копии текстового документа. Решение об итоговой аттестации принимают только после представления отчетной работы в установленный срок в оформленном виде.

4.3. Методика выполнения курсовой работы

Общие положения, принимаемые при анализе электромагнитных переходных процессов

Из всего многообразия электромагнитных переходных процессов в электроэнергетической системе наиболее распространенными являются процессы, вызванные:

- а) коротким замыканием в системе, а также повторным включением и отключением (одновременным или каскадным) короткозамкнутой цепи;
- б) включением и отключением двигателей и других приемников электроэнергии;
- в) возникновением местной несимметрии в системе (например, отключение одной фазы линии электропередачи);
- г) действием форсировки возбуждения синхронных машин, а также их развозбуждением (т. е. гашением их магнитного поля);
- д) несинхронным включением синхронных машин.

В данной курсовой работе рассматриваются вопросы, посвященные определению токов короткого замыкания как трехфазных, так и несимметричных. Общие сведения о токах короткого замыкания, их расчет, допущения, принятые при решении большинства практических задач, достаточно подробно изложены в [1], кроме того, там же рассмотрены вопросы составления схемы замещения и приведен расчет ее параметров, даны средние значения электродвижущих сил (ЭДС) для различных источников питания, а также рекомендации по приведению исходной схемы замещения к простейшей эквивалентной схеме.

4.3.1. Расчёт трёхфазного короткого замыкания

Определение величины периодической слагающей аварийного тока в начальный момент переходного процесса, мощности КЗ и ударного тока

После того как установлены параметры, которыми характеризуются все элементы электроэнергетической системы в момент внезапного нарушения режима, производится преобразование исходной схемы замещения к простейшей эквивалентной с параметрами E_{Σ} и X_{Σ} . Начальное значение периодической составляющей тока КЗ I определим аналитически, методом эквивалентных ЭДС:

$$I_{п0*} = \frac{E_{*\Sigma} - U_{*k}}{X_{*\Sigma}},$$

где U_{*k} - напряжение в узле КЗ (при трехфазном коротком замыкании $U_k = 0$).

Для перевода значения тока из относительных единиц в именованные полученную величину умножим на I_δ :

$$I_{п0} = I_{п0*} \cdot I_\delta = I_{п0*} \cdot \frac{S_\delta}{\sqrt{3}U_\delta},$$

где U_δ - базисное напряжение той ступени трансформации, на которой произошло КЗ.

Отключающую способность выключателя при номинальном его напряжении $U_{ном}$ характеризуют номинальным отключаемым током $I_{отк.ном}$ или пропорциональной ему номинальной отключаемой мощностью:

$$S_{отк.ном} = \sqrt{3}U_{ном} \cdot I_{отк.ном}.$$

Соответственно, когда проверка выключателя производится по отключаемой мощности, последняя должна быть сопоставлена с так называемой мощностью короткого замыкания, которая определяется как

$$S_{кз} = \sqrt{3}U_{ном} \cdot I_{п0}.$$

Имея в виду, что при одних и тех же базисных условиях численные значения относительных токов и мощностей короткого замыкания одинаковы ($S_{кз*} = I_{п0*}$), можно $S_{кз}$ в именованных единицах определить следующим образом:

$$S_{кз} = S_{кз*} \cdot S_\delta.$$

При определении максимального мгновенного значения полного тока, называемого ударным током, учитывают затухание лишь апериодической слагающей тока, считая, что амплитуда сверхпереходного тока за полпериода практически сохраняет свое начальное значение. При этом ударный ток, определяемый для наиболее тяжелых условий,

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2}I_{п0},$$

где k_y - ударный коэффициент.

Для определения ударного тока необходимо найти ударный коэффициент по формуле

$$k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}},$$

где $T_a = \frac{x_\Sigma}{\omega \cdot r_\Sigma}$

Для определения постоянной времени T_a затухания апериодической составляющей тока необходимо составить схему замещения, состоящую только из активных сопротивлений, но без источников питания. По конфигурации она соответствует схеме замещения из индуктивных сопротивлений. Следовательно, преобразуется к простейшему виду аналогично. При отсутствии необходимых данных для определения активных сопротивлений отдельных элементов схемы можно ориентироваться на указанные пределы x/r [1, 2, 3].

Определение величины периодической слагающей тока КЗ в произвольный момент времени

В приближенных расчетах токов КЗ для определения действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания в произвольный момент времени переходного процесса следует применить метод типовых кривых [2, 3].

Этот метод основан на использовании специальных кривых - основных и дополнительных. Основные типовые кривые используют, если электроэнергетическая система представлена одним или несколькими обобщенными генераторами, радиально связанными с местом короткого замыкания, находящимися в примерно одинаковых условиях. Дополнительные типовые кривые применяют в случае, если электроэнергетическая система представлена генераторами и шинами неизменного напряжения GS, связанными с точкой КЗ через общее сопротивление.

Алгоритм расчета

Схема преобразуется к следующему виду - рис. 4.1.

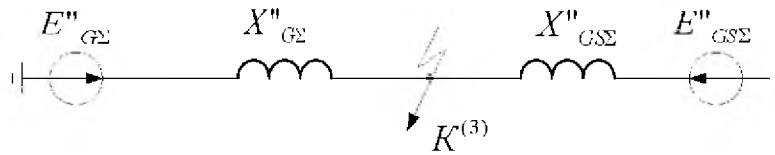


Рис. 4.1. Схема замещения электроэнергетической системы при радиально связанных с точкой КЗ источников питания

Алгоритм расчета следующий:

1. Определяем значения токов от генераторов и от системы методом эквивалентных ЭДС.

2. Ток от системы считаем незатухающим, поэтому его определяем сразу, переходя от относительных единиц к именованным:

$$I_{птGS} = I_{поGS} = \frac{E''_{GS\Sigma} - U_k}{X''_{GS\Sigma}} \cdot \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b},$$

где U_b - напряжение той ступени трансформации, где произошло КЗ.

3. Определив ток $I_{поGS}$ в именованных единицах, рассчитываем его номинальный ток относительно точки КЗ также в килоамперах:

$$I_{номGS} = \frac{S_{номGS}}{\sqrt{3}U_{ср. ном}}.$$

4. Находим отношение $I_{по}/I_{ном}$. Это отношение показывает номер кривой из семейства типовых кривых. В том случае, если $I_{по}/I_{ном} < 1$, то $I_{пт} = I_{по}$.

5. Если это отношение больше единицы, то по основным типовым кривым для заданного момента времени определяем отношение токов γ_t .

6. Рассчитываем действующее значение тока от генераторов:

$$I_{пт} = I_{по} \gamma_t.$$

7. Затем находим ток в точке КЗ для заданного момента времени как сумму токов от генератора и системы:

$$I_{птGS\Sigma} + I_{птG\Sigma}$$

4.3.2. Расчет несимметричного короткого замыкания

В трехфазных сетях с эффективно-заземленной нейтралью и трансформаторах ($U > 110$ кВ) могут возникать следующие виды несимметричных КЗ: двухфазное $K^{(2)}$, однофазное $K^{(1)}$ и двухфазное КЗ на землю $K^{(1,1)}$.

Токи в поврежденных фазах при несимметричных КЗ значительно превышают токи неповрежденных фаз и по значению в ряде случаев могут превосходить токи трехфазного КЗ. В связи с этим появляется необходимость в расчетах параметров несимметричных КЗ, которые обычно проводятся с использованием метода симметричных составляющих. Применение метода обусловлено тем, что при несимметричных КЗ фазы оказываются в разных условиях, и это не позволяет выполнить расчет только для одной из фаз, как делалось при расчете трехфазного КЗ.

Сущность этого метода состоит в представлении любой несимметричной трехфазной системы векторов (токов, напряжений) в виде трех симметричных трехфазных систем: прямой (A_1, B_1, C_1), обратной (A_2, C_2, B_2) и нулевой ($A_0 = B_0 = C_0$) последовательностей. При этом достаточно вычислить значения симметричных составляющих только для одной какой-либо фазы, например А, по которым определяют симметричные составляющие для двух других фаз и полные значения соответствующих фазных величин.

При расчете несимметричных КЗ, как и симметричных (трехфазных), предполагают, что сопротивления во всех трех фазах одинаковы и не учитывают насыщение магнитных систем. В таких электрических цепях законы Ома и Кирхгофа можно применять к каждой последовательности отдельно и независимо.

В симметричных трехфазных цепях с ненасыщенными магнитными элементами может быть применен принцип наложения, предполагающий, что отдельные составляющие действуют независимо друг от друга. Это обстоятельство позволяет составлять отдельные схемы замещения для каждой последовательности (рис. 4.2): а – прямой, б – обратной и с – нулевой.

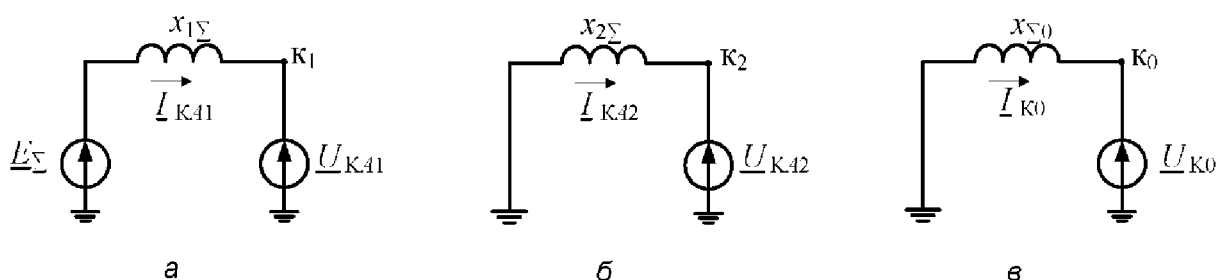


Рис. 4.2. Схемы замещения для отдельных последовательностей

Все источники питания создают только симметричную трехфазную систему ЭДС прямой последовательности, т. е. ЭДС обратной и нулевой последовательностей в схемах замещения равны нулю.

Протекание токов обратной и нулевой последовательностей условно можно рассматривать как результат возникновения в месте КЗ напряжений соответствующих последовательностей. По мере продвижения по цепи от места КЗ к источникам питания напряжение прямой последовательности возрастает от U_{KA1} до E_E , а напряжения обратной и нулевой последовательностей уменьшаются соответственно от U_{KA2} и U_{K0} до нуля.

Если токи и напряжения выражены в относительных единицах, то при их трансформации должны учитываться только угловые сдвиги, обусловленные соответствующей N группой соединения обмоток трансформатора.

Определение сопротивлений разных последовательностей

Индуктивное (активное, полное) сопротивление прямой последовательности любого элемента цепи - это индуктивное сопротивление при симметричном режиме работы фаз, т. е. именно то сопротивление, которое принималось при вычислении токов трехфазного КЗ.

Для тех элементов цепи, у которых взаимная индукция между фазами не зависит от порядка чередования фаз, индуктивные, активные и полные сопротивления обратной и прямой последовательностей одинаковы. К таким элементам относятся воздушные и кабельные линии, реакторы и трансформаторы.

Для вращающихся машин в общем случае сопротивления прямой и обратной последовательностей не равны, поскольку токи обратной последовательности создают магнитный поток статора, вращающийся против направления вращения ротора, т. е. с двойной угловой скоростью по отношению к ротору машины, и который встречает на своем пути изменяющееся магнитное сопротивление, зависящее от конструкции машины. Демпфирующие контуры (обмотки) машины несколько сглаживают неравномерность магнитных характеристик ротора, поэтому в практических расчетах несимметричных КЗ для турбогенераторов и гидрогенераторов (синхронных двигателей)

с успокоительными обмотками принимают равными x_d сопротивления обратной и прямой последовательностей.

Сопротивления нулевой последовательности рассматриваются в связи с замыканиями на землю.

Индуктивное сопротивление нулевой последовательности фазы линии увеличивается за счет взаимной индукции провода данной фазы с проводами двух других фаз благодаря арифметической сумме магнитных потоков, образующихся фазными токами нулевой последовательности, возвращающимися в заземленные нейтрали сети (трансформаторов) через землю.

Заземленные с обоих концов грозозащитные тросы снижают сопротивление нулевой последовательности линии. Тросы практически не влияют на данное сопротивление при заземлении их только с одного конца (второй конец подключается к искровому промежутку, связанному с землей).

Сопротивление нулевой последовательности каждой цепи двухцепной линии дополнительно увеличивается благодаря взаимоиндукции с проводами параллельной цепи.

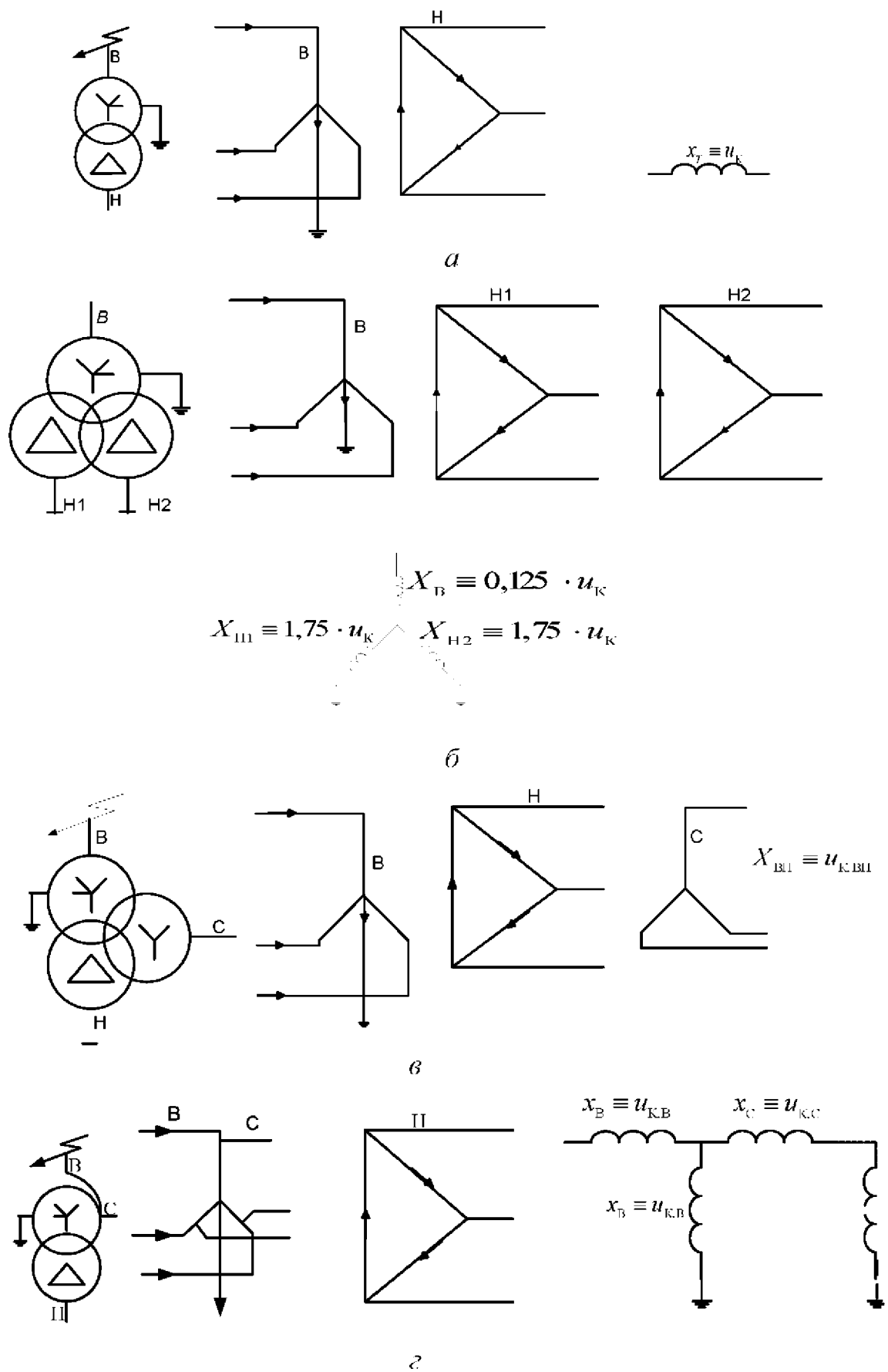


Рис.4.3. Схема замещения (авто)трансформаторов для токов нулевой последовательности

Средние значения соотношений между сопротивлениями нулевой и прямой последовательностей для воздушных линий передачи можно взять из справочной литературы.

Индуктивное сопротивление нулевой последовательности трансформатора или автотрансформатора определяется схемой соединения обмоток и конструктивным исполнением.

Если несимметричное на землю повреждение произошло со стороны трансформатора, где обмотка соединена в треугольник или звезду без заземления нейтрали, токи нулевой последовательности не могут проходить через данный трансформатор и его сопротивление в схеме замещения нулевой последовательности равно бесконечности (физически разрыв).

Путь для циркуляции токов нулевой последовательности имеет место лишь в тех (авто)трансформаторах, которые со стороны места повреждения имеют обмотку, соединенную в звезду с заземлением нейтрали. В этом случае сопротивление (авто)трансформатора должно быть учтено в схеме замещения нулевой последовательности.

На рис. 4.3 приведены схемы соединения обмоток и схемы замещения для наиболее распространенных типов двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов, автотрансформаторов.

Сопротивления схем замещения находят по формулам как для случая трехфазного короткого замыкания, т. е. сопротивления нулевой последовательности автотрансформаторов равны аналогичным сопротивлениям прямой последовательности.

Составление схем замещения отдельных последовательностей

Схемы замещения составляют отдельно для каждой последовательности, только для одной фазы, как это делается в случае симметричного трехфазного КЗ.

Схема прямой последовательности не отличается от схемы замещения, составленной при вычислении токов трехфазного КЗ. Если несимметричное КЗ происходит в узле трехфазного повреждения, то суммарное индуктивное сопротивление прямой последовательности равно рассчитанному при

трехфазном КЗ суммарному сопротивлению. Если несимметричное замыкание осуществляется в другом узле, то составляется схема замещения прямой последовательности, частично преобразованная при расчете симметричного замыкания таким образом, чтобы не повторялись предыдущие действия (операции). Окончательное преобразование приводит к получению.

Схема обратной последовательности состоит из тех же элементов, что и схема прямой последовательности, так как токи прямой и обратной последовательностей протекают по одним и тем же путям. При равенстве сопротивлений прямой и обратной последовательностей источников питания суммарное сопротивление обратной последовательности x_2 приравнивается

сопротивлению x_{1E} . ЭДС обратной последовательности источников питания

принимают равными нулю, поэтому началом схемы обратной последовательности является точка, объединяющая начала всех генерирующих ветвей, а концом схемы - точка КЗ, в которой приложено напряжение обратной последовательности U_{KA2} , возникающее вследствие несимметрии короткого замыкания (рис. 4.2, б).

Схема нулевой последовательности отличается от схем прямой и обратной последовательностей, так как токи нулевой последовательности протекают по путям, отличным от путей протекания токов трехфазного КЗ. Токи нулевой последовательности по существу являются однофазным током, разветвленным между тремя фазами и возвращающимся через землю и параллельные ей цепи.

Приступая к составлению схемы нулевой последовательности, прежде всего следует установить возможные контуры протекания тока нулевой последовательности. Для образования таких контуров необходимо, чтобы в цепи, электрически связанной с местом КЗ, имелись заземленные нейтрали (нейтраль), особенно при неучете емкостных проводимостей. При нескольких заземленных нейтралях, электрически связанных между собой, токи нулевой последовательности разветвляются между ними.

Схему нулевой последовательности начинают составлять от точки, где возникла несимметрия, считая, что в этой точке все фазы замкнуты между собой накоротко и к ней приложено напряжение нулевой последовательности U_{K0} . Концы элементов схемы нулевой последовательности, через которые возвращаются токи одноименной последовательности, имеют потенциал земли. Поэтому их объединяют в общую точку, которая является началом схемы нулевой последовательности; концом этой схемы считают точку КЗ (рис. 4.2, б).

Если нейтраль заземлена через сопротивление, то его следует вводить в схему замещения нулевой последовательности утроенной величиной, так как схему нулевой последовательности составляют для одной фазы, а через сопротивление в нейтрали протекают токи нулевой последовательности всех трех фаз. Чтобы учесть действительное падение напряжения в этом сопротивлении, его надо увеличить в три раза.

4.4. Методика защиты курсовой работы

Сроки защиты курсовой работы предусмотрены графиком самостоятельной работы (табл.4.1). Примерно за месяц до окончания выполнения курсовой работы преподаватель составляет график защит, учитывая степень готовности работ и пожелания студентов. За неделю до защиты студент должен представить курсовую работу на проверку преподавателю. После проверки преподаватель допускает студента к защите или студент исправляет ошибки в работе. Соответствующие записи делают в журнале преподавателя. Если студент по каким-либо причинам не укладывается в график самостоятельной работы по курсовой работе, он должен предупредить преподавателя заранее с целью корректирования даты защиты.

Если студент принял решение защищаться с представлением материалов в виде презентации, он должен кроме твёрдой копии представить на кафедре электронный вариант презентации.

Защита курсовой работы может приниматься преподавателем, читающим курс лекций, ведущим практические занятия или комиссией, назначаемой кафедрой, ведущей данную дисциплину. По итогам защиты студенту выставляется оценка по 100-балльной шкале, которая вносится в ведомость, зачётную книжку и приложение к диплому.

4.5. Вопросы для подготовки к защите курсовой работы

1. Определение короткого замыкания (КЗ).
2. Виды и последствия КЗ.
3. Допущения, принимаемые в практических расчетах токов короткого замыкания.
4. Вычисление ударного тока короткого замыкания: определение, аналитическое выражение, ударный коэффициент и способы его нахождения.
5. Графическое нахождение постоянной времени затухания апериодической составляющей аварийного тока.
6. Условия (расчетный случай) возникновения ударного тока.
7. Приближенный учет эквивалентной системы.
8. Составление схемы замещения системы для расчета тока короткого замыкания: сущность точного и приближенного приведения к одной ступени напряжения.
9. Система относительных единиц.
10. Определение параметров элементов ЭЭС в относительных единицах.

11. Расчет тока и мощности КЗ в аварийном узле в начальный момент короткого замыкания.
 12. Алгоритм определения тока КЗ в узле замыкания для заданного момента времени методом типовых кривых.
 13. Сущность метода симметричных составляющих.
 14. Параметры элементов ЭЭС для токов обратной и нулевой последовательностей.
 15. Составление схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей ЭЭС.
 16. Почему сопротивление в заземленной нейтрали (трансформатора) входит утроенной величиной в схему замещения нулевой последовательности?
 17. Уравнения второго закона Кирхгофа для расчета несимметричных КЗ.
 18. Граничные условия при всех видах однократной поперечной несимметрии и их назначение.
 19. Соотношения между симметричными составляющими токов (напряжений) всех видов поперечной несимметрии.
 20. Векторные диаграммы токов и напряжений при двухфазном коротком замыкании.
 21. Векторные диаграммы токов и напряжений при однофазном КЗ.
 22. Векторные диаграммы токов и напряжений при двухфазном КЗ на землю.
 23. Правило эквивалентности прямой последовательности при поперечной несимметрии: определение, выражения аварийного тока, дополнительного сопротивления (аварийного шунта), коэффициента $m^{(u)}$.
 24. Основание замены несимметричного КЗ условным трехфазным.
 25. Комплексные схемы замещения системы при различных несимметричных замыканиях (с учетом сопротивления электрической дуги).
 26. Как (качественно) изменяются величины напряжений всех последовательностей по мере удаления от места КЗ?
- Распределение и трансформация токов и напряжений при коротком замыкании (пример перехода с одной стороны трансформатора на другую).

5. РЕАЛИЗАЦИЯ ГРАФИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа по дисциплине «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» должна способствовать: закреплению знаний студентов по расчету и анализу аварийных режимов; развитию инженерного мышления;

совершенствованию навыков применения методов расчёта переходных процессов;

воспитанию способности к физической интерпретации результатов анализа;

развитию навыков предвидения тяжести протекания переходных процессов в условиях управления режимами электроэнергетических систем (ЭЭС).

Самостоятельная работа включает в себя изучение некоторых вопросов теоретического курса, самостоятельное решение задач и выполнение курсовой работы.

В соответствии с учебной программой следует соблюдать определённый порядок самостоятельной работы. В табл.1.1 приведён примерный график самостоятельной работы, выполнение которого является залогом успешного усвоения дисциплины, сдачи в срок курсовой работы и экзамена.

При выполнении графика самостоятельной работы могут возникать вопросы, которые следует решать на консультациях, предусмотренных объёмом учебной нагрузки преподавателя.

Задачи для самостоятельного решения с целью закрепления материала выдаются согласно читаемому лекционному материалу и темам практических занятий. В журнале преподаватель делает соответствующие записи по мере выполнения студентом графика самостоятельной работы, используя систему зачётных единиц.

6. МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ КРЕДИТНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ

В соответствии с Положением об организации учебного процесса в ЮЗГУ с использованием зачётных единиц (кредитов) и балльно-рейтинговой системы организация учебного процесса характеризуется следующими особенностями:

- используется Европейская система переноса и накопления зачётных единиц (кредитов ECTS) для оценки успешности освоения студентами учебных дисциплин;
- применяются основные инструменты ECTS: учебный договор, программы курсов, зачётные книжки;
- полная обеспеченность учебного процесса всеми необходимыми материалами в печатной и электронной формах: учебниками, методическими пособиями, учебно-электронными материалами, доступом к локальным и глобальным сетевым образовательным ресурсам;
- личное участие каждого студента в формировании своего индивидуального учебного плана на основе большой свободы выбора дисциплин.

Трудоёмкость всех видов учебной работы в планах бакалавров и специалистов устанавливается в зачётных единицах (з. е.), как правило, 1 з. е. = 36 академическим часам общей трудоёмкости или 27 астрономическим часам. Трудоёмкость может корректироваться в ходе мониторинга учебного процесса по особому регламенту.

Таким образом, одна з. е. (кредит) является условным параметром, рассчитываемым на основе реалистичных экспертных оценок совокупных трудозатрат среднего студента, необходимых для достижения целей обучения. Зачётные единицы назначаются всем образовательным компонентам учебного плана.

В табл. 6.1 и табл. 6.2 приведены нормативы расчёта трудоёмкости дисциплин и видов работы учебных планов и перевод баллов 100-балльной шкалы в их числовые коэффициенты и буквенные оценки при использовании кредитно-рейтинговой системы.

Текущая работа в семестре составляет 60 %, оценка на экзамене - 40 %. В зачётку выставляется средневзвешенная оценка. При изучении дисциплин существуют следующие виды контроля.

Текущая аттестация - аттестация во время семестра, включающая аттестацию на практических, семинарских занятиях, контрольных неделях, тестирование, защиту курсовой работы. Форма аттестации, её программа и трудоёмкость определяются кафедрой и вносятся в лист контрольных ме-

роприятий студента по дисциплине. Преподаватель в начале семестра доводит это до сведения студентов.

Оценка в 100-балльной шкале за выполнение и защиту курсовой работы вносится в ведомость, зачётную книжку и приложение к диплому.

Промежуточная аттестация - аттестация в период сессии, включающая зачёты и экзамены, предусмотренные учебным планом и действующим в ЮЗГУ Положением о промежуточной аттестации. Трудоёмкость промежуточной аттестации устанавливается кафедрой в соответствии с Положением о промежуточной аттестации.

Неучастие в итоговой аттестации в установленный срок без уважительной причины приравнивается к неудовлетворительной оценке. Если причина неучастия студента в промежуточном контрольном мероприятии является уважительной, преподаватель переносит это мероприятие для данного студента на другое время.

Таблица 6.1.

Наименование	Расчёт трудоёмкости в з. е.
Общая трудоёмкость; трудоёмкость дисциплины, включающая зачёт и трудоёмкость курсовых проектов (работ)	1 з. е. = 36 академических часов
Максимальная недельная трудоёмкость; трудоёмкость одной недели итоговой аттестации	1,5 з. е. = 54 академических часа
Трудоёмкость семестрового экзамена (3 дня для подготовки и 1 день на экзамен) при выделении этой трудоёмкости в учебном плане	1 з. е.
Общая семестровая трудоёмкость	30 з. е.
Общая годовая трудоёмкость	60 з. е.

Таблица 6.2.

Оценка в 100-балльной шкале	Оценка в традиционной шкале	Буквенные эквиваленты оценок в шкале ECTS (% успешно аттестованных)
85-100	5 (отлично)	A (отлично) - 10 %
70-84	4 (хорошо)	B (очень хорошо) - 25 %
50-69	3(удовлетворительно)	C (хорошо) - 30 % D(удовлетворительно) - 25 % E(посредственно) - 10 %
0-49	2(неудовлетворительно)	FX - неудовлетворительно, с возможной передачей F - неудовлетворительно, с повторным изучением дисциплины

7. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Промежуточная аттестация самостоятельной работы проводится с целью контроля за процессом самостоятельного изучения ряда вопросов, подробно не рассматриваемых в теоретическом курсе; закрепления методики решения практических задач и своевременного выполнения курсовой работы.

Контроль качества проработки тем самостоятельной подготовки - предоставление конспекта объёмом 3-6 страниц по каждой теме. Преподаватель назначает время для проверки конспектов и беседы со студентом.

Для лучшего усвоения практических вопросов, рассматриваемых на практических занятиях в самостоятельной работе, предусмотрено самостоятельное решение 10 задач, на которые отводится 11 часов. Задачи выдаются преподавателем в конце практического занятия согласно графику самостоятельной работы. Форма отчётности - наличие решённых задач, правильность выполнения которых проверяет преподаватель.

По всем видам самостоятельной работы преподавателем в течение семестра проводятся консультации.

Студенты, не выполнившие график самостоятельной работы, до сдачи экзамена не допускаются.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник для вузов / под ред. И. П. Крючкова. - 2-е изд. стер. - М. : Издательский дом МЭИ, 2009. - 416 с. - Текст: непосредственный.
2. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования : руководящие указания / под ред. Б. Н. Неклепаева. - М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. - 152 с.
3. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах [Текст] : учебник для вузов / В. А. Веников. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1985. - 535 с.
4. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования [Текст] : учебное пособие / под ред. И. П. Крючкова, В. А. Старшинова. - М. : Академия, 2005. - 416 с. - (Высшее профессиональное образование). - ISBN 5-7695-1998-3
5. Электроэнергетические системы и сети : учебное пособие : [предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника»] / Н. В. Хорошилов [и др.] ; Юго-Западный государственный университет. - Курск : ЮЗГУ, 2014. - 147 с. - Текст: непосредственный.
6. Энергетические системы в примерах и иллюстрациях. Под ред. В.А.Веникова. М.:Энергоатомиздат, 1983.
7. Лыкин А. В. Электрические системы и сети [Текст] : учебное пособие / А. В. Лыкин. - М. : Логос, 2007. - 254 с.
8. Электромагнитные переходные процессы. Расчет токов коротких замыканий с использованием ЭВМ: метод. указания/ сост. В.Н.Алябьев. - Курск: ЮЗГУ,2012.-21 с.
9. Расчет токов коротких замыканий в электроэнергетических системах: методические указания к курсовой работе/ сост. В.Н.Алябьев. - Курск: ЮЗГУ,2015.-52 с.
10. СТУ 04.02.030-2008 Система менеджмента качества. Работы (проекты) курсовые, работы выпускные квалификационные. Общие требования к структуре, оформлению и защите/Введен 07.02.2008. – Курск: ЮЗГУ, 2008. – 46 с.