

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ КИБЕРНЕТИКИ, ИНФОРМАТИКИ И СВЯЗИ
Кафедра «Электроэнергетика»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КУРСОВОЙ РАБОТЕ**

по дисциплине «Переходные процессы
в электроэнергетических системах
с распределенными параметрами»

на тему:

«РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ»

для студентов направления
140400.62 «Электроэнергетика и электротехника»
профиль «Электроснабжение»
дистанционной формы обучения

Составитель: Г.А. Хмара

Тюмень
ТюмГНГУ
2015

Расчет электромагнитных переходных процессов [Текст]: методические указания к курсовой работе для студентов направления 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электроснабжение» дистанционной формы обучения / сост. Г.А. Хмара; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень: Издательский центр БИК, ТюмГНГУ, 2015. – 36 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры «Электроэнергетика» «10» марта 2015 г, протокол №6.

Аннотация

Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах с распределенными параметрами» на тему «Электромагнитные переходные процессы» предназначены для студентов, обучающихся по направлению 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника». Данная дисциплина изучается в двух семестрах.

Приведено содержание основных разделов, требования к оформлению, задание, методика выполнения, вопросы для подготовки к защите курсовой работы.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	6
1.1. Требования к структуре курсовой работы	6
1.2. Требования к оформлению пояснительной записки.....	9
2 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ	13
2.1 Задание на курсовую работу	13
2.2 Схемы электроэнергетических систем.....	14
2.3 Исходные данные	16
3 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	21
3.1 Расчёт трёхфазного короткого замыкания.....	22
3.3 Построение кривых изменения аварийных фазных токов во времени	23
3.4 Расчёт цепи с поперечной несимметрией	24
3.5 Расчёт цепи с продольной несимметрией.....	29
3.6 Методика защиты курсовой работы.....	31
4 ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЩИТЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	34
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	34
Приложение 1	35
Приложение 2	36

ВВЕДЕНИЕ

1 Цели и задачи дисциплины:

Целью дисциплины «Переходные процессы в электроэнергетических системах» является формирование у студентов представлений о всем комплексе сложных вопросов и проблем, связанных с переходными процессами в электрических сетях и системах электроснабжения, научить производить необходимые расчеты с целью выбора уставок релейной защиты, обеспечивать протекания переходных процессов с минимальными отрицательными воздействиями на систему, как в нормальных, так и аварийных условиях эксплуатации электрооборудования.

Задачи дисциплины:

- ознакомить студентов с причинами появления и возможных последствий переходных процессов на работоспособность элементов системы, изменение их режимных параметров;
- усвоить технологии и назначение расчетов коротких замыканий в электроэнергетике;
- владеть методами расчета переходных процессов в зависимости от решаемой конкретной задачи проектирования системы;
- усвоить методы анализа переходных процессов, вызванных аварийными ситуациями.

2 Место дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к циклу БЗ профессиональный цикл дисциплин.

Входными знаниями для изучения дисциплины является Высшая математика (Интегральное и дифференциальное исчисление, Матричный метод расчета уравнений, Решения дифференциальных уравнений, Методы решения нелинейных дифференциальных уравнений и т.д.), Физика (Электричество и магнетизм), Теоретические основы электротехники, Электромеханика, Электрические сети и системы.

Дисциплина является предшествующей для выполнения Выпускной квалификационной работы.

3 Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции	Название компетенции
ПК	Профессиональные компетенции выпускника
ПК-8	готов участвовать в работе над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и отдельных их компонентов
ПК-11	способен использовать методы анализа и моделирования линейных и нелинейных электрических цепей постоянного и переменного тока
ПК-15	способен рассчитывать схемы и элементы основного оборудования, вторичных цепей, устройств защиты и автоматики электроэнергетических объектов
ПК-16	способен рассчитывать режимы работы электроэнергетических установок различного назначения, определять состав оборудования и его параметры, схемы электроэнергетических объектов
ПК-18	способен использовать технические средства для измерения основных параметров электроэнергетических и электротехнических объектов и систем и происходящих в них процессов
ПК-23	готов определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса по заданной методике

Цель курсовой работы – закрепить и систематизировать знания, полученные по дисциплине, 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 параметров электроэнергетической системы и параметров несимметричных режимов работы в трехфазных цепях методом симметричных составляющих. Также приобретаются навыки построения векторных диаграмм при однократной несимметрии и построения кривых изменения тока в фазах (ПК-11, ПК-15, ПК-16).

1 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1.1. Требования к структуре курсовой работы

Курсовая работа (КР) должна включать в указанной последовательности:

1. Пояснительную записку (ПЗ):
 - титульный лист;
 - задание на ВКР;
 - реферат (для магистерской диссертации - аннотация);
 - содержание;
 - определения, обозначения и сокращения (при необходимости);
 - введение;
 - основная часть;
 - заключение (выводы, рекомендации);
 - список использованных источников;
 - приложения.
2. Иллюстрационный материал (ИЛ).

Все разделы следует излагать кратко, используя для представления конечных результатов таблицы, графики и диаграммы.

ПЗ КР должна иметь следующее соотношение указанных частей работы:

- титульный лист на одной странице (см. приложение 1);
- задание на КР на двух сторонах одного листа (см. приложение 2);
- реферат на одной странице;
- содержание на 1-2 страницах;
- определения, обозначения и сокращения (при необходимости) на одной странице;
- введение на 1 странице;
- основная часть – 20-30 страниц;
- заключение (выводы, рекомендации) на одной странице;
- список использованных источников на 1-2 страницах.

Рекомендуемое соотношение частей ПЗ в *основной части* КР: описание применяемых методик – 20%; расчетная часть – 50%; анализ полученных результатов – 30%.

Составные части КР (КП) (пояснительная записка, графическая часть, иллюстрационный материал) имеют шифр:

КР. 13.04.02. XXX. XXX. 2015. 00. ПЗ
1 2 3 4 5 6 7

где 1 – обозначение работы - КР;

2 – код направления или специальности - КР магистранта – 13.04.02;

3 – номер приказа на закрепление темы КР;

- 4 – три последние цифры номера зачетной книжки;
- 5 – год выполнения ВКР;
- 6 – порядковый номер (для ПЗ «00»);
- 7 – аббревиатура документа
 - ПЗ – пояснительная записка;
 - ИЛ – иллюстрация (слайды презентации).

Задание оформляется по форме, приведенной в приложении 1 на двух сторонах одного листа.

Титульный лист оформляется по форме, приведенной в приложении 2.

Реферат составляется в соответствии с ГОСТ 7.9–95 (ИСО 214-76) и должен содержать:

- сведения об объеме работы, количестве иллюстраций, таблиц, приложений, использованных источников;
- текст реферата, который должен в краткой форме отражать: цель работы, основную суть работы, использованные методы расчета, полученные результаты и их новизну, область применения полученных результатов, основные технико-экономические показатели.

Введение должно в краткой форме отражать современное состояние рассматриваемого вопроса, обосновывается необходимость его решения, актуальность применяемых методик, связь с производственными задачами и обобщенную цель КР.

Основная часть включает основные сведения об объекте моделирования, краткое описание применяемых методик, основные расчеты и их результаты, анализ результатов расчетов, выводы, описания и обоснования принятых решений.

Заключение должно отражать основные результаты работы, содержать оценку его соответствия заданию, выводы по принятым решениям. Объем заключения не должен превышать одной страницы.

Список использованных источников выполняется согласно ГОСТ 7.82-2001, ГОСТ 7.1-2003, ГОСТ Р 7.0.5-2008. Источники следует располагать по алфавиту. Ссылки на литературные источники в тексте записки целесообразно делать лишь в тех случаях, когда источник содержит оригинальные сведения, новые нормативы, специальные формулы, схемы и т.п. При ссылке нужно указать в квадратных скобках тот порядковый номер, который источник имеет в списке литературы, приводимом в конце пояснительной записки.

В текст пояснительной записки следует включать не весь первичный материал, а лишь ту его часть, которая необходима для полноты восприятия проделанной работы. При необходимости вспомогательный материал может быть вынесен в **приложения**. В приложения следует включать программы расчетов на ЭВМ, промежуточные расчёты, таблицы вспомогательных цифровых данных.

Содержание основных разделов курсовой работы приведено в табл. 1.

Таблица 1

Содержание разделов курсовой работы

№ п/п	Содержание основных разделов курсовой работы	Доля от всей работы, %	Объём выполненной работы, %
1	2	3	4
1	Введение		
2	Составление схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей для расчета однократной поперечной несимметрии	4	4
3	Определение сопротивлений схем замещения различных последовательностей в относительных единицах при базисных условиях и приближённом приведении для расчета однократной поперечной несимметрии	4	8
4	Преобразование схемы замещения прямой последовательности и определение эквивалентной ЭДС	6	14
5	Определение начального значения периодической составляющей тока в месте трёхфазного КЗ, мощности КЗ и ударного тока	4	18
6	Построение кривых изменения тока в фазах	4	22
5	Преобразование схем замещения различных последовательностей и определение результирующего сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей	10	32
6	Определение тока прямой последовательности и остальных симметричных составляющих тока, определение симметричных составляющих напряжений.	6	38
7	Построение векторных диаграмм токов и напряжений однократной поперечной несимметрии	6	44
8	Составление схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей для расчета однократной продольной несимметрии	12	56
9	Определение сопротивлений схем замещения различных последовательностей в относительных единицах при базисных условиях и приближённом приведении для расчета однократной продольной несимметрии	4	60
10	Преобразование схемы замещения прямой последовательности и определение эквивалентной ЭДС	6	66

1	2	3	4
11	Преобразование схем замещения различных последовательностей и определение результирующего сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей	10	76
12	Определение тока прямой последовательности и остальных симметричных составляющих тока, определение симметричных составляющих напряжений.	6	82
13	Построение векторных диаграмм токов и напряжений однофазной продольной несимметрии	6	88
14	Заключение	2	90
15	Окончательное и оформление курсовой работы	10	100
16	Подготовка к защите и защита курсовой работы		

Каждое приложение начинается с новой страницы и имеет тематический заголовок. В верхнем правом углу пишется слово «Приложение» и (если в записке более одного приложения) указывается его номер арабскими цифрами, например: Приложение 3. Если одно приложение составляет более одной страницы, то на последующих его страницах в правом верхнем углу пишется: Продолжение приложения 3. При этом нумерация страниц должна быть сквозной по всей ПЗ.

1.2. Требования к оформлению пояснительной записки

Пояснительная записка выполняется на стандартных листах писчей бумаги формата А4 (210x297) мм по ГОСТ 2.105-95.

Текст пояснительной записки располагается на одной стороне листа А4 (210x297). Междустрочный интервал – полуторный, размер букв основного текста - 14pt, цвет – черный, гарнитура – Times New Roman.

Поля для ВКР бакалавров и специалистов: слева –25мм, снизу 25 мм, сверху – 15 мм, справа – 10 мм.

Поля для магистерских диссертаций: слева –25мм, снизу 20 мм, сверху – 20 мм, справа – 10 мм.

Сокращения русских слов и словосочетаний в тексте ПЗ выполняется по ГОСТ Р 7.0.12-2011, на иностранных языках – по ГОСТ 7.11-2004.

Размеры в формулах: обычный - 16pt, крупный индекс - 9pt, мелкий индекс - 7pt, крупный символ -24pt, мелкий символ - 16pt. Все латинские буквы (за исключением названий функций) набираются курсивом. Текст набирается в редакторе Word for Windows шрифтом Times New Roman.

Расстояние от края до колонтитула: верхнего – 5 мм; нижнего – 17 мм, при этом расстояние от нижнего края страницы до её номера будет не менее 10 мм.

Расстояние между заголовком и текстом, между заголовками раздела и подраздела, между текстом и формулой – два межстрочных интервала.

Номер страницы ставится внизу в её центре. Все страницы нумеруются, начиная с титульного листа. На титульном листе, на листах задания, содержания и реферата номера не проставляются.

Форматирование текста – «по ширине», за исключением заголовков и подзаголовков, которые форматируются «по центру».

Текст пояснительной записки делится на разделы, которым присваиваются порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами. Наименование раздела записывается прописными буквами. Например,

2. РАСЧЕТ ОДНОКРАТНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ НЕСИММЕТРИИ

Разделы, в свою очередь, делятся на подразделы. Номер подраздела состоит из двух чисел: первая – номер раздела, в который входит подраздел; второе – номер подраздела в данном разделе. Например,

2.3. Расчет однофазного короткого замыкания

Заголовки подразделов записываются строчными буквами. Точка в конце заголовков не ставится. Подчеркивать заголовки не допускается.

В тексте документа не допускается:

- применять обороты разговорной речи;
- применять произвольные словообразования;
- применять сокращение слов, кроме установленных правилами русской орфографии, пунктуации;
- сокращать обозначения физических единиц (СИ).

Формулы нумеруются арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе, разделённых точкой. Номер указывают с правой стороны листа напротив формулы в круглых скобках, например, (2.4) - четвертая формула второго раздела.

В процессе расчета необходимо привести формулу, подставить в нее числовые значения буквенных обозначений и записать готовый ответ без промежуточных вычислений. При многократно повторяющихся однотипных расчетах нужно привести расчетную формулу, дать один-два примера расчета, а результаты последующих расчетов свести в таблицу.

Значение символов и числовых коэффициентов должны расшифровываться непосредственно под формулой в той последовательности, в какой они даны в формуле. Значение каждого символа следует давать с новой строки. Первую строку начинают со слова «где», двоеточие после него **не** ставят.

Уравнение и формулы следует выделять из текста свободными строками. Перенос в формулах разрешается только после арифметических знаков (равно, плюс, минус, умножить и т.п.).

Обозначение единиц физических величин следует помещать только после конечного результата вычисления в круглых скобках.

Таблицы нумеруются последовательно арабскими цифрами в пределах раздела. В правом верхнем углу таблицы над соответствующим заголовком помещают надпись «Таблица» с указанием номера таблицы. После номера таблицы точка не ставится. Номер таблицы должен состоять из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой, например,

Таблица 1.2

Название таблицы			
Заголовок 1	Заголовок 2	Заголовок 3	
		подзаголовок 3.1	подзаголовок 3.2
1	2	3	4
текст	текст	текст	текст

(вторая таблица первого раздела). При переносе части таблицы на другие страницы, над ними пишут слово «продолжение», например,

Продолжение табл. 1.2

1	2	3	4
текст	текст	текст	текст

Таблицы имеют горизонтальное деление (строки) и вертикальное (столбцы или колонки). В верхней строке таблицы указываются наименования (заголовки и подзаголовки) граф-столбцов таблицы. Заголовки граф начинают с прописных букв, а подзаголовки - со строчных, если они составляют одно предложение с заголовками. Если же подзаголовок представляет собой самостоятельное предложение, то его начинают с прописной буквы. Заголовки строк располагают в крайней левой колонке таблицы и начинают с прописных букв. Графу «№ п/п» в таблицу не включают. При необходимости порядковый номер указывается слева перед началом соответствующей горизонтальной строки арабскими цифрами и отделяется точкой.

В тексте пояснительной записки должна быть сделана ссылка на таблицу. Например: «Результаты расчетов токов короткого замыкания сведены в табл. 2.7».

Все иллюстрации (схемы, графики, рисунки, диаграммы и т.д.), поясняющие текстовую часть пояснительной записки, именуется рисунками. Они обозначаются словом «Рис.» и нумеруются последовательно арабскими цифрами в пределах раздела. Номера рисунков формируются аналогично номерам таблиц и формул. После номера рисунка следует подрисуночная надпись. Например,

Рис. 2.5. Векторные диаграммы токов и напряжений

Все кривые (если их на рисунке несколько) на каждом рисунке должны быть пронумерованы. Расшифровка может быть выполнена в тексте записки либо в подрисуночной надписи. В последнем случае после названия рисунка ставится двоеточие и через дефис дается пояснение, что означает каждая кривая. Ссылки на рисунки оформляются так же, как и на таблицы.

Рисунки и таблицы следует помещать сразу же после того, как они впервые упомянуты в тексте и не далее, чем на следующей странице.

К защите КР выполняются презентационные слайды. Презентации следует выполнять в виде слайдов в приложении Microsoft Office PowerPoint в версии не позднее 2007. В презентации может использоваться не более трех цветов и не более трех шрифтов (курсив и жирный шрифт считаются отдельными шрифтами). Каждый слайд презентации должен быть пронумерован в правом или левом верхнем углу.

Презентация должна содержать только тот материал, который приведен в ПЗ. К защите должен быть подготовлен так называемый «раздаточный материал», который представляет из себя уменьшенные копии листов формата А1, распечатанные на листах формата А4 или А3, и выполняется в необходимом количестве экземпляров (по количеству членов комиссии). Графика в презентации должна быть четкой, крупной. Каждый чертеж, график, таблица должны иметь название. Совокупность слайдов оформляется в виде *иллюстрационного* материала к КР.

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.

2 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Задание на курсовую работу выдает преподаватель в начале семестра согласно графику учебной работы. Индивидуальные исходные данные приведены в таблицах.

2.1 Задание на курсовую работу

При трехфазном КЗ в месте замыкания заданной схемы

а) вычислить аналитически методом эквивалентных ЭДС величины периодической слагающей аварийного тока в начальный момент переходного процесса ($t=0$), мощности КЗ и ударного тока при условии номинального режима работы системы в предшествующем режиме;

б) построить кривые изменения аварийных фазных токов во времени.

При однократной поперечной несимметрии (однофазном КЗ на землю, двухфазном КЗ, двухфазном КЗ на землю) в месте замыкания заданной схемы вычислить методом симметричных составляющих:

а) величины симметричных составляющих тока и напряжения;

б) построить векторные диаграммы токов и напряжений в фазах при однократной поперечной несимметрии;

в) сравнить величины токов и напряжений в фазах при различных видах однократной поперечной несимметрии.

При однократной продольной несимметрии (однофазном обрыве, двухфазном обрыве) в месте обрыва заданной схемы вычислить методом симметричных составляющих:

а) величины симметричных составляющих тока и напряжения;

б) построить векторные диаграммы токов и напряжений в фазах при однократной продольной несимметрии;

в) сравнить величины токов и напряжений в фазах при различных видах однократной продольной несимметрии.

Вариант задания выбирается по последней цифре номера зачетной книжки. Схемы электроэнергетических систем приведены в пункте 2.2. В пункте 2.3 представлены исходные данные для расчетов к схемам. В этом же пункте приведена справочная информация о параметрах отдельных элементов электроэнергетических систем. Методика решения задач, поставленных в данной курсовой работе, изложена в лекционных курсах по учебной дисциплине.

Сопротивление элементов определить по паспортным данным элементов, приведенным в источнике [5].

2.2 Схемы электроэнергетических систем

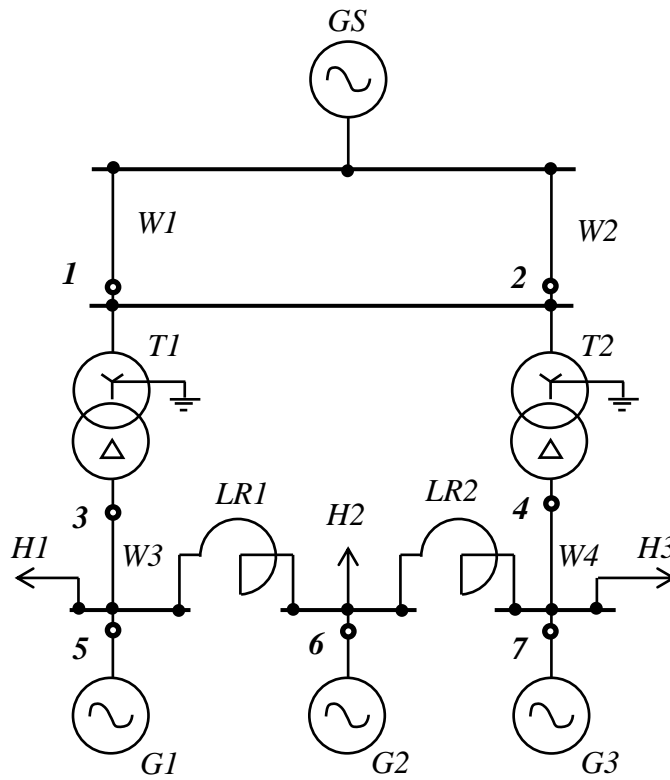


Рис. 3.1. Вариант схемы электроснабжения №1

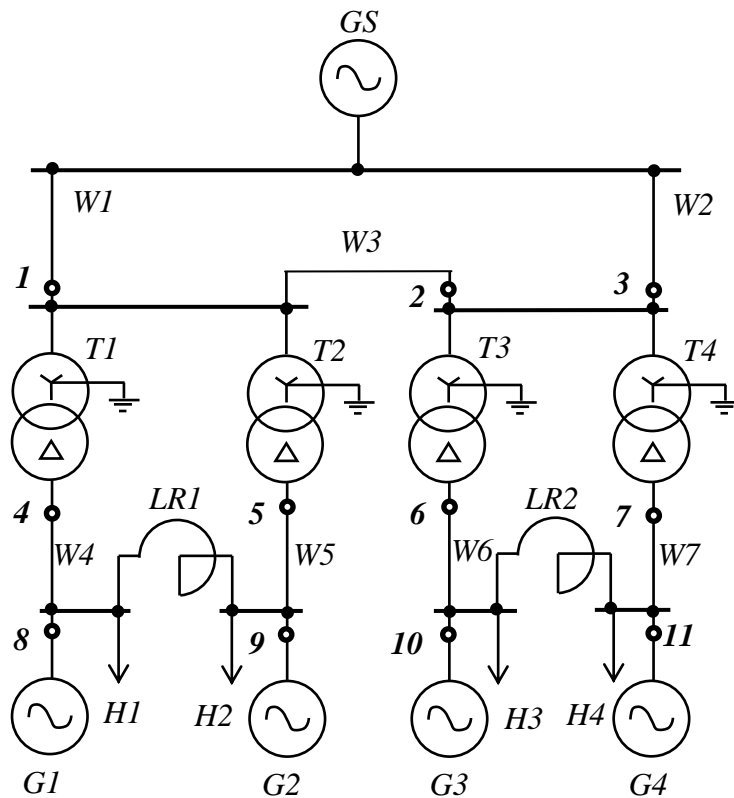


Рис. 3.2. Вариант схемы электроснабжения №2

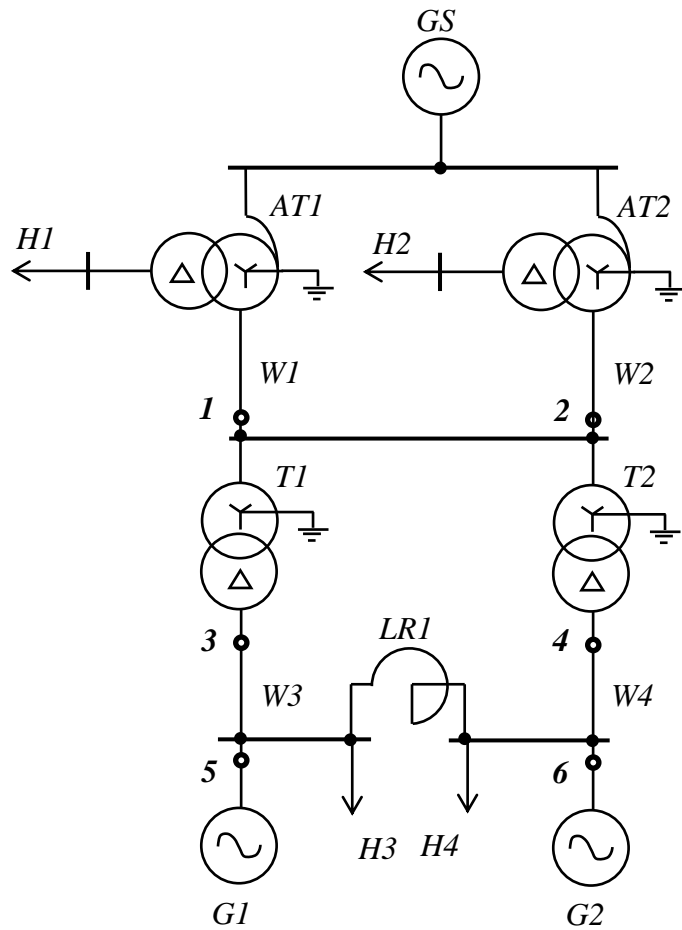


Рис. 3.3. Вариант схемы электроснабжения №3

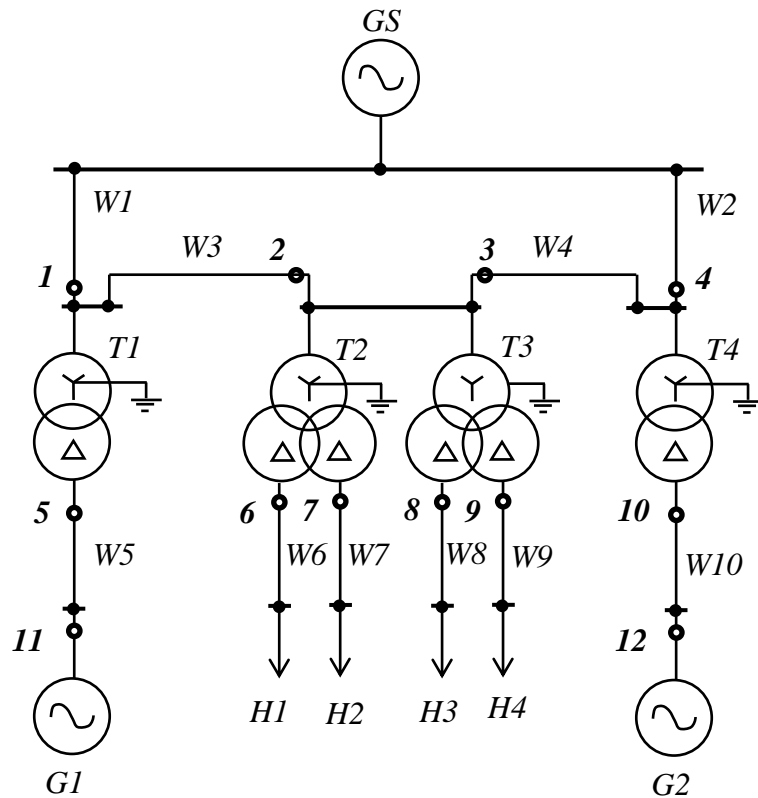


Рис. 3.4. Вариант схемы электроснабжения №4

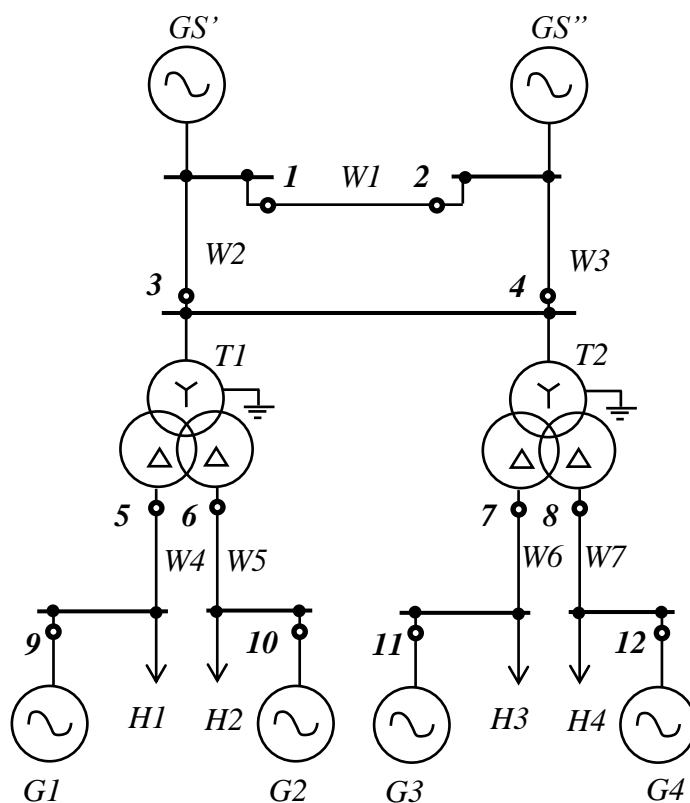


Рис. 3.5. Вариант схемы электроснабжения №5

2.3 Исходные данные

Таблица 2.1

Характеристика электроэнергетической системы

Тип системы	Характеристики		Тип узла обобщенной нагрузки [2]	Параметры узла нагрузки напряжением, кВ		
	$X_{(1)}$	$X_{(0)}$		6-10 $\underline{Z}_{1нг(ном)}^*$	$E''_{нг(ном)}^*$	35-110 $\underline{Z}_{1нг(ном)}^*$
1	2	3	4	5	6	7
GS1	0,28	0,34	S1	$0,04 + j0,15$	1,11	$0,04 + j0,25$
GS2	0,15	0,40	S2	$0,03 + j0,17$	0,936	$0,03 + j0,27$
GS3	0,11	0,16	S3	$0,3 + j0,43$	0,865	$0,04 + j0,54$
GS4	0,16	0,26	S4	$0,1 + j0,33$	1,03	$0,15 + j0,43$
GS5	0,26	0,43	S5	$0,17 + j0,23$	0,788	$0,2 + j0,34$
GS6	0,17	0,27	S6	$0,02 + j0,2$	1,0	$0,02 + j0,31$

Таблица 2.2

Характеристики электрооборудования электроэнергетической системы

Вариант Рисунок Точка возникновения переходного процесса	Обозначение на схеме	Тип	Параметры
1	2	3	4
<u>1</u> 3.1 1	<i>GS</i>	<i>GS1</i>	700 МВА
	<i>G1,G2,G3</i>	ТВС-32У3	
	<i>T1,T2</i>	ТРДЦН-125000/110	
	<i>LR1,LR2</i>	РБДГ-10-4000-0,18У3	
	<i>H1,H2,H3</i>	<i>S1</i>	30 МВА
	<i>W1,W2</i>	АС-150 (двухцепная без тросов)	45 км
	<i>W3,W4</i>	АС-95 (двухцепная со стальными тросами)	80 км
<u>2</u> 3.2 1	<i>GS</i>	<i>GS1</i>	800 МВА
	<i>G1,G2,G3,G4</i>	Т-6-2У3	
	<i>T1,T2,T3,T4</i>	ТД-16000/110	
	<i>LR1,LR2</i>	РБГ-10-1600-0,35У3	
	<i>H1,H2</i>	<i>S2</i>	5 МВА
	<i>H3,H4</i>	<i>S6</i>	4 МВА
	<i>W1,W2</i>	АС-95(двухцепная со стальными тросами)	100 км
	<i>W3</i>	АС-70(двухцепная без тросов)	3 км
	<i>W4,W5</i>	АС-70(двухцепная без тросов)	50 км
	<i>W6,W7</i>	АС-70(двухцепная без тросов)	25 км
<u>3</u> 3.3 1	<i>GS</i>	<i>GS1</i>	1100 МВА
	<i>G1,G2</i>	ТВС-32У3	
	<i>AT1,AT2</i>	АТДЦН-63000/220/110	
	<i>T1,T2</i>	ТДН-40000/110	
	<i>LR1</i>	РБДГ-10-4000-0,18У3	
	<i>H1,H2</i>	<i>S3</i>	30 МВА
	<i>H3,H4</i>	<i>S4</i>	10 МВА
	<i>W1,W2</i>	АС-150 (двухцепная без тросов)	50 км
<i>W3,W4</i>	АС-120 (двухцепная со стальными тросами)	25 км	

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4
<u>4</u> 3.4 1	<i>GS</i>	<i>GS1</i>	900 МВА
	<i>G1, G2</i>	Т-12-2У3	
	<i>T1, T4</i>	ТД-16000/110	
	<i>T2, T3</i>	ТРДН-25000/110	
	<i>H1, H3</i>	<i>S6</i>	10 МВА
	<i>H2, H4</i>	<i>S5</i>	6 МВА
	<i>W1, W2</i>	АС-95(двухцепная со стальными тросами)	30 км
	<i>W3, W4</i>	АС-95(двухцепная без тросов)	15 км
	<i>W5, W10</i>	АС-95(двухцепная без тросов)	25 км
	<i>W6, W7, W8, W9</i>	АС-95(двухцепная без тросов)	12 км
<u>5</u> 3.5 3	<i>GS', GS''</i>	<i>GS1, GS2</i>	750 МВА, 650 МВА
	<i>G1, G2, G3, G4</i>	Т-6-2У3	
	<i>T1, T2</i>	ТРДН-25000/110	
	<i>H1, H3</i>	<i>S1</i>	3 МВА
	<i>H2, H4</i>	<i>S4</i>	5 МВА
	<i>W1</i>	АС-70(двухцепная без тросов)	10 км
	<i>W2, W3</i>	АС-95(двухцепная без тросов)	120 км
	<i>W4, W6</i>	АС-95(двухцепная со стальными тросами)	12 км
	<i>W5, W7</i>	АС-70(двухцепная без тросов)	12 км
<u>6</u> 3.1 2	<i>GS</i>	<i>GS2</i>	500 МВА
	<i>G1, G2, G3</i>	Т-12-2У3	
	<i>T1, T2</i>	ТДН-63000/110	
	<i>LR1, LR2</i>	РБД-10-2500-0,14У3	
	<i>H1, H2, H3</i>	<i>S6</i>	20 МВА
	<i>W1, W2</i>	АС-95 (двухцепная без тросов)	30 км
	<i>W3, W4</i>	АС-95 (двухцепная со стальными тросами)	40 км

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4
<u>7</u> <u>3.2</u> 2	<i>GS</i>	<i>GS2</i>	900 МВА
	<i>G1,G2,G3,G4</i>	ВСТ 260/99-10	
	<i>T1,T2,T3,T4</i>	ТДН-16000/110	
	<i>LR1,LR2</i>	РБГ-10-1600-0,35У3	
	<i>H1,H2</i>	<i>S1</i>	8 МВА
	<i>H3,H4</i>	<i>S3</i>	3 МВА
	<i>W1, W2</i>	АС-70(двухцепная со стальными тросами)	100 км
	<i>W3</i>	АС-70(двухцепная без тросов)	10 км
	<i>W4, W5</i>	АС-70(двухцепная без тросов)	25 км
	<i>W6, W7</i>	АС-70(двухцепная без тросов)	40 км
<u>8</u> <u>3.3</u> 2	<i>GS</i>	<i>GS2</i>	850 МВА
	<i>G1,G2</i>	ТВС-32У3	
	<i>AT1,AT2</i>	АТДЦТН-100000/220/110	
	<i>T1,T2</i>	ТДН-40000/110	
	<i>LR1</i>	РБДГ-10-4000-0,18У3	
	<i>H1,H2</i>	<i>S3</i>	40 МВА
	<i>H3,H4</i>	<i>S4</i>	50 МВА
	<i>W1, W2</i>	АС-150 (двухцепная без тросов)	15 км
<i>W3, W4</i>	АС-120 (двухцепная со стальными тросами)	20 км	
<u>9</u> <u>3.4</u> 2	<i>GS</i>	<i>GS1</i>	900 МВА
	<i>G1,G2</i>	ТВС-32У3	
	<i>T1, T4</i>	ТД-16000/110	
	<i>T2,T3</i>	ТРДН-25000/110	
	<i>H1, H3</i>	<i>S6</i>	10 МВА
	<i>H2,H4</i>	<i>S5</i>	6 МВА
	<i>W1, W2</i>	АС-95(двухцепная со стальными тросами)	30 км
	<i>W3, W4</i>	АС-95(двухцепная без тросов)	15 км
	<i>W5, W10</i>	АС-95(двухцепная без тросов)	25 км
<i>W6, W7, W8, W9</i>	АС-95(двухцепная без тросов)	12 км	

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4
$\frac{0}{3.5}$ 2	<i>GS',GS''</i>	<i>GS3, GS4</i>	800 МВА, 700 МВА
	<i>G1,G2,G3,G4</i>	ТВФ-63-2У3	
	<i>T1,T2</i>	ТРДН-25000/110	
	<i>H1, H3</i>	<i>S2</i>	25 МВА
	<i>H2,H4</i>	<i>S6</i>	15 МВА
	<i>W1</i>	АС-95(двухцепная без тросов)	10 км
	<i>W2,W3</i>	АС-70(двухцепная без тросов)	80 км
	<i>W4, W6</i>	АС-95(двухцепная со стальными тросами)	15 км
	<i>W5,W7</i>	АС-70(двухцепная без тросов)	15 км

3 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

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 и напряжений в фазах при несимметричных переходных процессах. Общие сведения о несимметричных режимах работы, их расчет, допущения, принятые при решении большинства практических задач, достаточно подробно изложены в [1, 2]. Кроме того, там же рассмотрены вопросы составления схем 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.

При составлении схемы замещения следует принять допущения, указанные в источнике [2]:

- в схеме должны быть представлены все элементы исходной расчетной схемы, причем источники энергии (генераторы, синхронные компенсаторы, а также электродвигатели мощностью 100 кВт и более, если они не отделены от расчетной точки КЗ токоограничивающим реактором или трансформатором) и обобщенные нагрузки узлов должны быть введены в схему ЭДС и индуктивными сопротивлениями, соответствующими рассматриваемому моменту времени;

- остальные элементы исходной расчетной схемы должны быть представлены в схеме замещения полными сопротивлениями;

- емкостными проводимостями воздушных линий можно пренебречь;

- насыщение магнитных систем трансформаторов, генераторов отсутствуют;

- токи намагничивания трансформаторов, автотрансформаторов пренебрежимо малы.

3.1 Расчёт трёхфазного короткого замыкания

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 и Z . Начальное значение периодической составляющей тока КЗ $I_{п0}$ определяют аналитически, методом эквивалентных ЭДС:

$$I_{п0*} = \frac{E_{*\Sigma} - U_{*k}}{Z_{*\Sigma}}, \quad (3.1)$$

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 умножают на I_{δ} :

$$I_{п0} = I_{п0*} \cdot I_{\delta} = I_{п0*} \cdot \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta}}, \quad (3.2)$$

где U_{δ} – базисное напряжение той ступени трансформации, на которой произошло КЗ.

Отключающую способность выключателя при номинальном его напряжении характеризуют номинальным отключаемым током или пропорциональной ему номинальной отключаемой мощностью:

$$S_{отк.ном} = \sqrt{3}U_{ном} \cdot I_{отк.ном}. \quad (3.3)$$

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

$$S_{кз} = \sqrt{3}U_{ном} \cdot I_{п0}. \quad (3.4)$$

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

$$S_{кз} = S_{кз*} \cdot S_{\delta}, \quad (3.5)$$

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,

$$i_y = k_y \sqrt{2} I_{п0}, \quad (3.6)$$

где k_y – ударный коэффициент, зависящий от постоянной времени затухания апериодической составляющей тока или от отношения L/R .

Для определения ударного тока необходимо найти ударный коэффициент по формуле

$$k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}, \quad (3.7)$$

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

При отсутствии необходимых данных для определения активных сопротивлений отдельных элементов схемы можно ориентироваться на указанные пределы $\frac{x_\Sigma}{\omega \cdot r_\Sigma}$ [1, 2, 3].

3.3 Построение кривых изменения аварийных фазных токов во времени

Для построения кривых изменения токов во времени во всех фазах необходимо иметь в виду, что наибольшее начальное значение апериодической составляющей тока КЗ $i_{a(0)}$ получается в одной из трех фаз при возникновении короткого замыкания в режиме холостого хода электроэнергетической системы в предположении, что периодическая составляющая тока КЗ в момент возникновения короткого замыкания проходит через свой положительный или отрицательный максимум.

Считается, что указанные условия характеризуют фазу А.

Для построения кривых выполняют следующие расчеты. Полный ток КЗ в любой момент времени во всех фазах определяется суммой периодической и апериодической составляющей тока, кА

$$i_{kt} = i_{пт} + i_{ат}. \quad (3.8)$$

Величина периодической составляющей тока в фазе А в любой момент времени, кА,

$$i_{\Pi a} = \sqrt{2}I_{\Pi 0} \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k), \quad (3.9)$$

где $\alpha = 0$ – фаза включения;

$\varphi_k = \frac{\pi}{2}$ – угол сдвига тока;

$\omega = 314$ – угловая скорость вращения, рад·с⁻¹.

Апериодический ток в любой момент времени в фазе A , кА,

$$i_{aA} = i_{a|0|} e^{-\frac{t}{T_a}}. \quad (3.10)$$

Значение периодической составляющей тока в фазе B в любой момент времени, кА,

$$i_{\Pi A} = \sqrt{2}I_{\Pi 0} \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k - \frac{2\pi}{3}). \quad (3.11)$$

Апериодический ток в любой момент времени в фазе B , кА,

$$i_{aB} = \frac{i_{a|0|}}{2} e^{-\frac{t}{T_a}}. \quad (3.12)$$

Значение периодической составляющей тока в фазе C в любой момент времени, кА,

$$i_{\Pi C} = \sqrt{2}I_{\Pi 0} \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k - \frac{4\pi}{3}). \quad (3.13)$$

Апериодический ток в любой момент времени в фазе C , кА,

$$i_{aC} = \frac{i_{a|0|}}{2} e^{-\frac{t}{T_a}}. \quad (3.14)$$

По результатам вычислений строится полный ток КЗ в любой момент времени и во всех фазах. На графике обязательно показывают оси. Вес линии оси не менее 0,75 пт, вес линии графика не менее 1,50 пт.

После построения графиков сравните полученные значения со значением ударного тока, рассчитанным аналитически по формуле (3.6).

3.4 Расчёт цепи с поперечной несимметрией

Рассмотрим трехфазную цепь с симметричным генератором и симметричной нагрузкой, в которой произошло короткое замыкание фазы A на землю (рисунок 3.3).

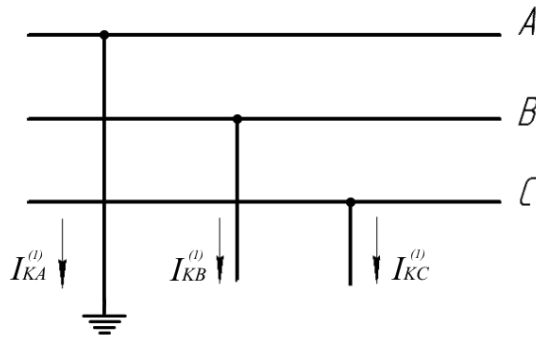


Рис. 3.3. Короткое замыкание фазы А на землю

При однофазном коротком замыкании на землю фазы А ($K^{(1)}$) граничные условия и ограничения:

$$\begin{aligned} \underline{z}_1 \cdot \dot{I}_1 + \dot{U}_{KA1} &= \dot{E}_{A1}; \\ \underline{z}_2 \cdot \dot{I}_{KA2} + \dot{U}_{KA2} &= 0; \\ \underline{z}_0 \cdot \dot{I}_{KA0} + \dot{U}_{KA0} &= 0; \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} U_A^{(1)} &= 0; \text{ или } U_{KA1}^{(1)} + U_{KA2}^{(1)} + U_{KA0}^{(1)} = 0; \\ I_{KB}^{(1)} &= 0; \text{ или } a^2 I_{KA1}^{(1)} + a I_{KA2}^{(1)} + I_{KA0}^{(1)} = 0; \\ I_{KC}^{(1)} &= 0; \text{ или } a I_{KA1}^{(1)} + a^2 I_{KA2}^{(1)} + I_{KA0}^{(1)} = 0; \end{aligned}$$

В матричной форме:

$$A \cdot (\dot{I}_{KA1}, U_{KA1}) = B$$

$$\begin{pmatrix} \underline{z}_1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{z}_2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{z}_0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a & a^2 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \\ \underline{U}_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{E}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

Для двухфазного короткого замыкания (рисунок 4.4) граничные условия и ограничения имеют вид:

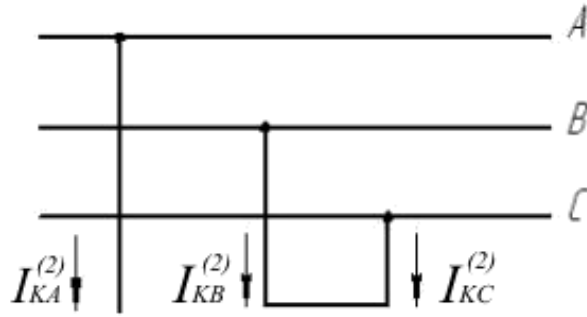


Рис. 3.4. Двухфазное короткое замыкание между фазами В и С

$$\begin{aligned}
 \underline{z}_1 \cdot \dot{I}_{KA1} + \dot{U}_{KA1} &= \dot{E}_{A1}; \\
 \underline{z}_2 \cdot \dot{I}_{KA2} + \dot{U}_{KA2} &= 0; \\
 \underline{z}_0 \cdot \dot{I}_{KA0} + \dot{U}_{KA0} &= 0.
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

$$I_{KA}^{(2)} = 0; \quad \text{или} \quad I_{KA}^{(2)} = I_{KA1}^{(2)} + I_{KA2}^{(2)} + I_{KA0}^{(2)} = 0$$

$$I_{KB}^{(2)} = -I_{KC}^{(2)}; \quad \text{или} \quad a^2 I_{KA1}^{(2)} + a I_{KA2}^{(2)} + I_{KA0}^{(2)} = -(a I_{KA1}^{(2)} + a^2 I_{KA2}^{(2)} + I_{KA0}^{(2)});$$

$$U_{KB}^{(2)} - U_{KC}^{(2)} = 0, \quad \text{или} \quad a^2 U_{KA1}^{(2)} + a U_{KA2}^{(2)} + U_{KA0}^{(2)} - a U_{KA1}^{(2)} - a^2 U_{KA2}^{(2)} - U_{KA0}^{(2)} = 0$$

В матричной форме:

$$A \cdot (\dot{I}_{KA1}, U_{KA1}) = B$$

$$\begin{vmatrix}
 \underline{z}_1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & \underline{z}_2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & \underline{z}_0 & 0 & 0 & 1 \\
 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 a^2 + a & a^2 - a & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & a^2 - a & a - a^2 & 0
 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \\ \underline{U}_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \underline{E}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \tag{3.18}$$

Для двухфазного короткого замыкания на землю (рисунок 4.5) граничные условия и ограничения имеют вид:

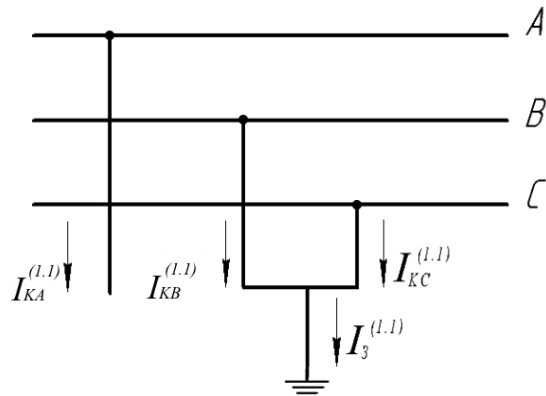


Рис.3.5. Двухфазное замыкание на землю фазы В и С

$$\begin{aligned}
 \underline{z}_1 \cdot \dot{I}_{KA1} + \dot{U}_{KA1} &= \dot{E}_{A1}; \\
 \underline{z}_2 \cdot \dot{I}_{KA2} + \dot{U}_{KA2} &= 0; \\
 \underline{z}_0 \cdot \dot{I}_{KA0} + \dot{U}_{KA0} &= 0.
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

$$\begin{aligned}
 I_{KA}^{(1,1)} &= 0 \text{ или } I_{KA1}^{(1,1)} + I_{KA2}^{(1,1)} + I_{KA0}^{(1,1)} = 0; \\
 U_{KB}^{(1,1)} &= 0 \text{ или } a^2 U_{KA1}^{(1,1)} + a U_{KA2}^{(1,1)} + U_{KA0}^{(1,1)} = 0; \\
 U_{KC}^{(1,1)} &= 0 \text{ или } a U_{KA1}^{(1,1)} + a^2 U_{KA2}^{(1,1)} + U_{KA0}^{(1,1)} = 0.
 \end{aligned}$$

В матричной форме:

$$A \cdot (\dot{I}_{KA1}, U_{KA1}) = B$$

$$\begin{vmatrix}
 \underline{z}_1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & \underline{z}_2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & \underline{z}_0 & 0 & 0 & 1 \\
 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & a^2 & a & 1 \\
 0 & 0 & 0 & a & a^2 & 1
 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \\ \underline{U}_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \underline{E}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \tag{3.20}$$

Далее рассчитывают значения симметричных составляющих тока и напряжения

$$(\dot{I}_{KA1}, U_{KA1}) = A^{-1} \cdot B \tag{3.21}$$

Зная симметричные составляющие, находят токи и напряжения в месте короткого замыкания для каждого из несимметричных режимов.

$$\begin{aligned}
I_{KA}^{(n)} &= I_{\kappa 1}^{(n)} + I_{\kappa 2}^{(n)} + I_{\kappa 0}^{(n)} \\
I_{KB}^{(n)} &= a^2 I_{\kappa 1}^{(n)} + a I_{\kappa 2}^{(n)} + I_{\kappa 0}^{(n)} \\
I_{KC}^{(n)} &= a I_{\kappa 1}^{(n)} + a^2 I_{\kappa 2}^{(n)} + I_{\kappa 0}^{(n)} \\
U_{KA}^{(n)} &= U_{\kappa 1}^{(n)} + U_{\kappa 2}^{(n)} + U_{\kappa 0}^{(n)} \\
U_{KB}^{(n)} &= a^2 U_{\kappa 1}^{(n)} + a U_{\kappa 2}^{(n)} + U_{\kappa 0}^{(n)} \\
U_{KC}^{(n)} &= a U_{\kappa 1}^{(n)} + a^2 U_{\kappa 2}^{(n)} + U_{\kappa 0}^{(n)}
\end{aligned}
\tag{3.22}$$

В матричной форме:

$$\begin{pmatrix} \underline{I}_{KA} \\ \underline{I}_{KB} \\ \underline{I}_{KC} \\ \underline{U}_{KA} \\ \underline{U}_{KB} \\ \underline{U}_{KC} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a^2 & a & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a & a^2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & a^2 & a & 1 \\ 0 & 0 & 0 & a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \\ \underline{U}_0 \end{pmatrix}
\tag{3.23}$$

Постройте векторные диаграммы токов и напряжений по вычисленным значениям токов и напряжений для несимметричных режимов работы. Например, векторные диаграммы токов и напряжений в точке КЗ при однофазном коротком замыкании на землю имеют вид:

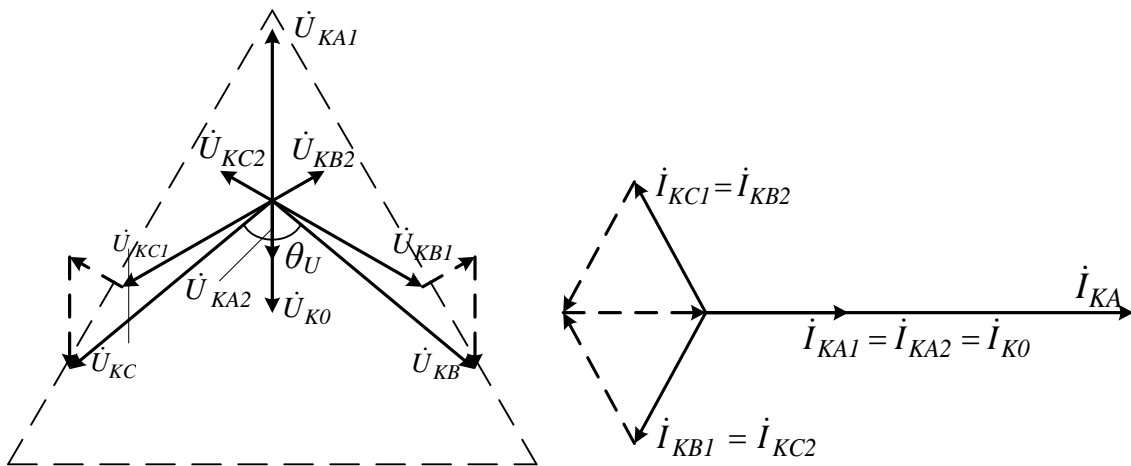


Рис. 4.6. Векторные диаграммы токов и напряжений в точке КЗ при однофазном коротком замыкании

Угол θ_U между напряжениями неповрежденных фаз зависит от соотношения между $x_{2\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$. Он изменяется в широких пределах: $60^\circ \leq \theta_U <$

180° . Нижний предел соответствует условию $x_{0\Sigma} \rightarrow \infty$, а верхний предел при $x_{0\Sigma} \rightarrow 0$. При $x_{2\Sigma} = x_{0\Sigma}$ угол $\theta_U = 120^\circ$.

Сравните значения величин токов и напряжений при различных видах поперечной несимметрии. Результаты вывода представьте в виде таблицы.

3.5 Расчёт цепи с продольной несимметрией

При продольной несимметрии каждая из схем имеет два конца – точки, между которыми расположена данная несимметрия. К концу или между концами схем отдельных последовательностей приложены напряжения соответствующих последовательностей, возникшие в месте несимметрии. В результате преобразований схемы прямой и обратной последовательностей сводятся к виду, показанному на рис. 4.7.

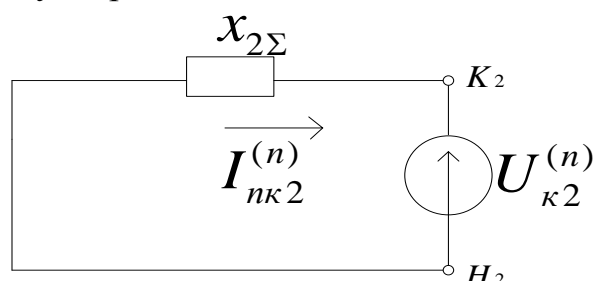


Рис. 4.7. Схема замещения обратной последовательности при продольной несимметрии

Для однофазного обрыва фазы А граничные условия и ограничения имеют вид:

$$\begin{aligned} \underline{z}_1 \cdot \dot{I}_{HA1} + \dot{U}_{HA1} &= \dot{E}_{A1}; \\ \underline{z}_2 \cdot \dot{I}_{HA2} + \dot{U}_{HA2} &= 0; \\ \underline{z}_0 \cdot \dot{I}_{HA0} + \dot{U}_{HA0} &= 0. \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned} I_{HA}^{(1,1)} = 0 \text{ или } I_{HA1}^{(1,1)} + I_{HA2}^{(1,1)} + I_{H0}^{(1,1)} &= 0; \\ U_{KB}^{(1,1)} = 0 \text{ или } a^2 U_{KA1}^{(1,1)} + a U_{KA2}^{(1,1)} + U_{KA0}^{(1,1)} &= 0; \\ U_{HC}^{(1,1)} = 0 \text{ или } a U_{KA1}^{(1,1)} + a^2 U_{KA2}^{(1,1)} + U_{KA0}^{(1,1)} &= 0. \end{aligned}$$

В матричной форме:

$$A \cdot (\dot{I}_{HA1}, U_{HA1}) = B$$

$$\begin{vmatrix} \underline{z}_1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{z}_2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{z}_0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a^2 & a & 1 \\ 0 & 0 & 0 & a & a^2 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \\ \underline{U}_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \underline{E}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad (3.25)$$

При двухфазном обрыве фазы В и С граничные условия и ограничения:

$$\begin{aligned} \underline{z}_1 \cdot \dot{I}_1 + \dot{U}_{HA1} &= \dot{E}_{A1}; \\ \underline{z}_2 \cdot \dot{I}_{HA2} + \dot{U}_{HA2} &= 0; \\ \underline{z}_0 \cdot \dot{I}_{HA0} + \dot{U}_{HA0} &= 0; \end{aligned} \quad (3.26)$$

$$\begin{aligned} U_{HA}^{(1)} &= 0; \text{ или } U_{KA1}^{(1)} + U_{KA2}^{(1)} + U_{K0}^{(1)} = 0; \\ I_{HB}^{(1)} &= 0; \text{ или } a^2 I_{KA1}^{(1)} + a I_{KA2}^{(1)} + I_{KA0}^{(1)} = 0; \\ I_{HC}^{(1)} &= 0; \text{ или } a I_{KA1}^{(1)} + a^2 I_{KA2}^{(1)} + I_{KA0}^{(1)} = 0; \end{aligned}$$

В матричной форме:

$$A \cdot (\dot{I}_{HA1}, U_{HA1}) = B$$

$$\begin{vmatrix} \underline{z}_1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{z}_2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{z}_0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a & a^2 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \\ \underline{U}_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \underline{E}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad (3.27)$$

Далее рассчитывают значения симметричных составляющих тока и напряжения

$$(\dot{I}_{HA1}, U_{HA1}) = A^{-1} \cdot B \quad (3.28)$$

Зная симметричные составляющие, найдите токи и напряжения в месте короткого замыкания для каждого из несимметричных режимов.

$$\begin{aligned}
I_{HA}^{(n)} &= I_{H1}^{(n)} + I_{H2}^{(n)} + I_{H0}^{(n)} \\
I_{HB}^{(n)} &= a^2 I_{H1}^{(n)} + a I_{H2}^{(n)} + I_{H0}^{(n)} \\
I_{HC}^{(n)} &= a I_{H1}^{(n)} + a^2 I_{H2}^{(n)} + I_{H0}^{(n)} \\
U_{HA}^{(n)} &= U_{H1}^{(n)} + U_{H2}^{(n)} + U_{H0}^{(n)} \\
U_{HB}^{(n)} &= a^2 U_{H1}^{(n)} + a U_{H2}^{(n)} + U_{H0}^{(n)} \\
U_{HC}^{(n)} &= a U_{H1}^{(n)} + a^2 U_{H2}^{(n)} + U_{H0}^{(n)}
\end{aligned} \tag{3.29}$$

В матричной форме:

$$\begin{pmatrix} \underline{I}_{HA} \\ \underline{I}_{HB} \\ \underline{I}_{HC} \\ \underline{U}_{HA} \\ \underline{U}_{HB} \\ \underline{U}_{HC} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a^2 & a & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a & a^2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & a^2 & a & 1 \\ 0 & 0 & 0 & a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \\ \underline{U}_0 \end{pmatrix} \tag{3.30}$$

Постройте векторные диаграммы токов и напряжений по вычисленным значениям токов и напряжений для несимметричных режимов работы.

Сравните значения величин токов и напряжений при различных видах продольной несимметрии. Результаты вывода представьте в виде таблицы.

3.6 Методика защиты курсовой работы

Сроки защиты курсовой работы предусмотрены графиком самостоятельной работы. За неделю до защиты студент должен представить курсовую работу на проверку преподавателю в установленном порядке. 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, он должен предупредить преподавателя заранее с целью корректирования даты защиты.

Пояснительная записка к курсовой работе и диск с электронной копией пояснительной записки и промежуточными расчетами, выполненными в каких-либо из возможных приложений в исходных форматах должны быть предоставлены на кафедру в установленном порядке.

Если студент принял решение защищаться с представлением материалов в виде презентации, он должен кроме твёрдой копии (иллюстрационного материала) представить на кафедру электронный вариант презента-

ции.

По итогам защиты студенту дистанционной формы обучения выставляется оценка по 5-балльной шкале, которая вносится в ведомость и зачётную книжку.

4 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. Применимость метода симметричных составляющих в расчетах несимметричных КЗ
14. Параметры элементов для прямой и обратной последовательностей
15. Сопротивления нулевой последовательности трансформаторов и автотрансформаторов
16. Сопротивления нулевой последовательности воздушных и кабельных линий
17. Схемы замещения отдельных последовательностей
18. Двухфазное КЗ. Определение токов и напряжений
19. Однофазное КЗ. Определение токов и напряжений
20. Двухфазное КЗ на землю. Определение токов и напряжений
21. Однофазный обрыв. Определение токов и напряжений
22. Двухфазный обрыв. Определение токов и напряжений
23. Правило эквивалентности прямой последовательности
24. Комплексные схемы замещения
25. Соотношения между токами при различных видах КЗ
26. Трансформация симметричных составляющих

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнение курсовой работы по данной дисциплине позволит студентам закрепить знания студентов по расчету и анализу несимметричных аварийных режимов;

развитию инженерного мышления;

получить навыки применения методов расчёта несимметричных переходных процессов;

воспитать способности к физической интерпретации результатов анализа;

развить навыки предвидения тяжести протекания переходных процессов в условиях управления режимами электроэнергетических систем (ЭЭС).

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Переходные процессы в электрических системах [Текст]: учебное пособие для подготовки бакалавров и дипломированных специалистов по направлению "Электроэнергетика" / Ю.А. Куликов; Новосибирский государственный технический университет. - Новосибирск : НГТУ ; М. : Мир: АСТ, 2003. - 284 с.
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. Режимы энергосистем: методы анализа и управления [Текст] : производственно-практическое издание / В. А. Баринов, С. А. Савалов. - М. : Энергоатомиздат, 1990. - 440 с.
4. Переходные процессы в системах электроснабжения [Текст] : учебник для студентов вузов по специальности "Электроснабжение" (по отраслям) / В. Н. Винославский [и др.]. - Киев : Вища школа, 1989. - 422 с. - Библиогр.: с. 418.
5. Электрическая часть электростанций и подстанций [Текст]: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб.пособие для вузов. – 4-е изд, перераб. и доп. / Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Задание на курсовую работу

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНЖИНИРИНГА

ЗАДАНИЕ

на курсовую работу

Ф.И.О. обучающегося _____

Ф.И.О. руководителя КР Хмара Гузель Азатовна

Тема КР «Расчет электромагнитных переходных процессов»

утверждена приказом по _____ от «__» _____ 2015 г. № _____

Срок предоставления завершённой КР на кафедру «__» _____ 2015 г.

Исходные данные к КР:

- схема ЭЭС №ХХ
- параметры системы, генераторов:
- параметры трансформаторов и автотрансформаторов:
- параметры ЛЭП:
- параметры реакторов:
- параметры нагрузок:

Содержание пояснительной записки

Наименование раздела (главы)	Количество листов иллюстративного материала	% от объема ВКР	Дата выполнения
Введение		5	
Расчета трехфазного короткого замыкания	2	30	
Расчета однократной поперечной несимметрии	3	30	
Расчета однократной продольной несимметрии	4	30	
Заключение		5	

Всего листов в иллюстрационной части КР 9

Дата выдачи задания «__» _____ 2015 г. _____
(подпись руководителя)

Задание принял к исполнению «__» _____ 2015 г. _____
(подпись студента)

Титульный лист пояснительной записки

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНЖИНИРИНГА
Кафедра «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»

**РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовой работе
КР.13.04.02.ХХХ.ХХХ.2015.00.ПЗ

РУКОВОДИТЕЛЬ

доцент, канд. техн. наук
_____ Хмара Г.А.

РАЗРАБОТЧИК:

студент группы
_____ Фамилия И.О.

Курсовая работа (проект)
защищена с оценкой _____

Тюмень, 2015

Составитель: Хмара Гузель Азатовна

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КУРСОВОЙ РАБОТЕ**

по дисциплине «Переходные процессы
в электроэнергетических системах
с распределенными параметрами»

на тему:

«ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ»

для студентов направления
140400.62 «Электроэнергетика и электротехника»
профиль «Электроснабжение»
дистанционной формы обучения

В авторской редакции

Подписано в печать ____ . ____ .2015. Формат 60x90 1/16. Усл. печ. л. 1,8.
Тираж 50 экз. Заказ № ____.

«Тюменский государственный нефтегазовый университет».
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.
Отдел оперативной полиграфии издательства.
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.