

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 16:45:41

Уникальный программный ключ: «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению расчетного-графической работы

по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	3
1.	Цель, задачи и реализуемые компетенции	4
2.	Формулировка задания и ее объем	5
3.	Общие требования к написанию и оформлению работы	9
4.	Рекомендации по выполнению задания	11
5.	План-график выполнения задания	18
6.	Критерии оценивания работы	19
7.	Порядок защиты работы	21
	Список рекомендуемой литературы	22

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания являются заготовкой к лабораторным работам по дисциплине «**Переходные процессы в электроэнергетических системах**» и предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника дневной и заочной форм обучения.

Применение методических указаний позволяет интенсифицировать процесс изучения материала, помогает студентам приобретать навыки работы с оборудованием и технической литературой.

Цель, задачи и реализуемые компетенции

Основной целью изучения дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» является получение знаний о построении и режимах работы систем электроснабжения промышленных и гражданских объектов, а также объектов сельского хозяйства и транспортных систем.

Задачей дисциплины является изучение физических основ формирования режимов электропотребления, освоение основных методов расчёта интегральных характеристик режимов и определения расчётных нагрузок, показателей качества электроснабжения, изучение методов достижения заданного уровня надежности оборудования и систем электроснабжения.

При выполнении расчетно-графической работы реализуются следующие компетенции:

Индекс	Формулировка:
--------	---------------

ПК-2	Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов
------	---

Индикаторы достижения компетенций	ИД-3ПК-2 Обеспечивает заданные параметры режима системы электроснабжения объекта
-----------------------------------	--

Формулировка задания и ее объем.

– Базовый уровень

Рассчитать электрические нагрузки групп электроприемников методом упорядоченных диаграмм показателей графиков электрических нагрузок.

Повышенный уровень

Выполнить расчет токов короткого замыкания в системе электроснабжения и произвести проверку питающего кабеля КТП на термическую стойкость к токам КЗ.

2. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В итоге изучения дисциплины студент должен знать:

- об объектах, явлениях, процессах и методах анализа поведения электроэнергетической системы (ЭЭС) и систем электроснабжения (СЭС) при различных нарушениях;

- о теории статической и динамической устойчивости ЭЭС и СЭС; Студент должен уметь:

- методами расчетов переходных режимов ЭЭС и СЭС (статической и динамической устойчивости);- методами анализа поведения ЭЭС и СЭС;

уметь использовать:

- - математические модели и программные комплексы для анализа переходных процессов;

Выполнять необходимые расчеты;

формирования и постановки задач расчета переходных режимов ЭЭС и СЭС;

- использования современной вычислительной техники для расчетов устойчивости ЭЭС и СЭС.

Общие требования к написанию и оформлению работы.

Основные требования к работе

При выполнении и оформлении контрольной по ГОСТу надо учитывать общие требования, которые предъявляются к работе:

- студент должен придерживаться заданной тематики;
- запрещено менять тему самостоятельно без обращения к преподавателю;

- при оформлении работы нужно учитывать нормы и ГОСТы;
- контрольная выполняется на основании не менее семи источников, выбранных автором;

- работа должна быть авторской, в ней должны содержаться собственные выводы студента;
- текст контрольной должен иметь объем не менее 7 листов.

Оформление по ГОСТу текста контрольной

Когда работа выполнена, ее необходимо привести в соответствующий вид согласно ГОСТам:

- контрольную набирают в Word или другом текстовом редакторе с аналогичным функционалом;
- при наборе нужно использовать шрифт Times New Roman;
- интервал между строк — полуторный;
- размер шрифта — 14;
- текст выравнивается по ширине;
- в тексте делают красные строки с отступом в 12,5 мм;
- нижнее и верхнее поля страницы должны иметь отступ в 20 мм;
- слева отступ составляет 30 мм, справа — 15 мм;
- контрольная всегда нумеруется с первого листа, но на титульном листе номер не ставят;
- номер страницы в работе всегда выставляется в верхнем правом углу;
- заголовки работы оформляются жирным шрифтом;
- в конце заголовков точка не предусмотрена;
- заголовки набираются прописными буквами;
- все пункты и разделы в работе должны быть пронумерованы арабскими цифрами;
- названия разделов размещаются посередине строки, подразделы — с левого края;
- работа распечатывается в принтере на листах А4;
- текст должен располагаться только на одной стороне листа.

Работа имеет такую структуру:

1. Титульный лист;
2. Оглавление и введение;
3. Основной текст и расчет контрольной;
4. Заключительная часть работы;
5. Перечень использованной литературы и источников;
6. Дополнения и приложения.

Если в работе есть приложения, о них надо упоминать в оглавлении.

Ссылки нумеруются арабскими цифрами, при этом учитывают структуру работы (разделы и подразделы).

Рекомендации по выполнению задания.

При расчетах токов КЗ допускается не учитывать:

1. Сдвиг по фазе ЭДС и изменение частоты вращения роторов синхронных машин, если продолжительность КЗ не превышает 0,5 с;
2. Ток намагничивания силовых трансформаторов и автотрансформаторов;
3. Насыщение магнитных систем электрических машин;
4. Поперечную емкость воздушных линий электропередачи ($U=110-220\text{кВ}$, если их длина не превышает 200 км, и $U=330-600\text{ кВ}$, если длина не превышает 150 км);
5. Активные сопротивления элементов сети напряжением свыше 35 кВ.

В электрической трехфазной системе напряжением 110 кВ и выше возможны следующие виды КЗ: трехфазное - $K^{(3)}$; двухфазное - $K^{(2)}$; двухфазное на землю - $K^{(1,1)}$; однофазное на землю - $K^{(1)}$. Расчеты токов КЗ производятся с помощью расчетных схем сети, в которые вводятся все участвующие в питании места КЗ источники, а также элементы (трансформаторы, линии, реакторы и др.) с учетом их связей, как с местом КЗ, так и между собой. Для упрощения проводимых расчетов целесообразно в расчетной схеме все магнитосвязанные цепи заменить одной эквивалентной электрически связанной цепью, т.е. составить схему замещения. Для расчета несимметричных КЗ рекомендуется использовать метод симметричных составляющих и правило эквивалентности прямой последовательности .

2.2 Определение параметров элементов эквивалентных схем замещения.

Параметры эквивалентных схем замещения могут быть определены:

1. В именованных и относительных единицах приведением значений параметров расчетных схем к выбранной основной (базисной) ступени напряжения сети с учетом фактических коэффициентов трансформации силовых трансформаторов и автотрансформаторов.

2. В относительных и именованных единицах значений параметров расчетных схем к выбранным базисным условиям с учетом средних коэффициентов трансформации, равных отношению средних номинальных напряжений сетей соответствующих ступеней напряжений. Рекомендуется использовать шкалу средних номинальных между фазных напряжений сетей в [кВ]: 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 18; 20; 24; 37; 115; 154; 230; 340; 515; 750.

В первом случае рассчитывают токи КЗ при наличии данных с фактических коэффициентов трансформации. Наиболее предпочтителен для практических расчетов (рекомендуется в КР) второй способ приведения. Расчетные выражения для этого способа приведены в табл. 1. При выборе данных условий следует руководствоваться тем, чтобы порядок числовых значений был удобен для оперирования с ними. За базисную мощность ($S_б$) целесообразно принимать число, кратное десяти. Например, 10, 100, 1000 и т. п. [МВА]. За базисные напряжения ($U_б$) рекомендуется принимать среднее значение той степени трансформации, где находится точка КЗ.

Базисный ток и сопротивление определяются по выражениям:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} \quad Z_б = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot I_б} = \frac{U_б}{S_б} \quad (1)$$

2.3. Составление схем замещения для токов прямой, обратной и нулевой последовательностей

Определение параметров их элементов. (В дальнейшем приняты широко распространенные обозначения индексов для параметров прямой, обратной и нулевой последовательностей: 1, 2, 0).

1. Схема замещения прямой последовательности аналогична схеме, которая составляется для расчетов симметричного КЗ. В зависимости от момента времени и метода расчета все элементы, в состав которых входят вращающиеся машины (генераторы, нагрузки двигатели, системы и т.п.), вводятся в схему замещения прямой последовательности

соответствующими реактивными ЭДС. Все остальные элементы вводятся в схему неизменными сопротивлениями.

Началом схемы (н) прямой последовательности считается точка, в которой объединены свободные концы всех генерирующих и нагрузочных ветвей. В месте несимметрии (конец схемы - к) действует ЭДС, равная напряжению прямой последовательности. Любую схему прямой последовательности можно привести к простейшей схеме, из которой определяется результирующая ЭДС E_{Σ} и результирующее сопротивление прямой последовательности $X_{\Sigma 1}$

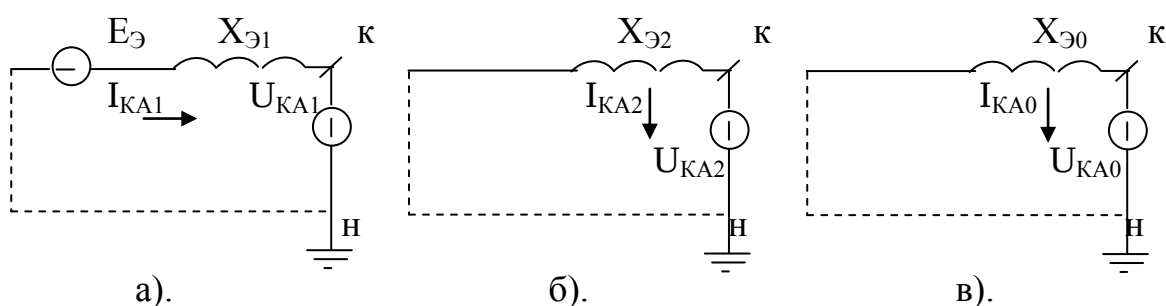


Рис. 1

2. Схема замещения обратной последовательности по конфигурации не отличается от схемы прямой последовательности. Началом схемы обратной последовательности является точка, объединяющая начало всех генерирующих и нагрузочных ветвей (ЭДС обратной последовательности равны нулю). В конце схемы (в точке КЗ) приложено напряжение U_{KA2} . Параметры элементов схем замещения обратной последовательности для трансформаторов, воздушных линий, кабелей и реакторов те же, что и в схеме прямой последовательности. По сравнению со схемой замещения прямой последовательности изменяются сопротивления обратной последовательности элементов, в состав которых входят вращающиеся машины.

Если для нагрузки сопротивление обратной последовательности не задано, то его можно принимать равным $X_{H(2)}=0,35$ о. е.

Сопротивление обратной последовательности генераторов дается в каталогах в относительных единицах с приведением к номинальным параметрам генератора.

Схема замещения обратной последовательности приводится к виду, изображенному на рис. 1, б. Здесь $X_{\Sigma 2}$ является результирующим сопротивлением обратной последовательности.

3. Вид схемы замещения нулевой последовательности зависит от заземления нейтралей сети высшего напряжения (110 кВ и выше), количества трансформаторов и автотрансформаторов, схем соединения их обмоток. Если нейтраль трансформатора будет незаземлена, то не будет контура для протекания тока нулевой последовательности. При соединении обмотки трансформатора в треугольник ток нулевой последовательности в этой обмотке протекает, но далее пути для него нет.

В схеме замещения нулевой последовательности по сравнению с прямой изменяются сопротивления линий электропередачи. Это обусловлено особенностями циркуляции токов нулевой последовательности.

Составление схемы замещения нулевой последовательности следует начинать от точки КЗ, где приложено напряжение $U_{КА0}$ и являющейся концом схемы замещения. Далее в схему вводятся те элементы, по которым протекают токи нулевой последовательности. Концы этих элементов, имеющих потенциалы земли, т. е. заземленные нейтралей трансформаторов (автотрансформаторов) и обмотки, соединенные треугольником, объединяются в общую точку, получая начало схемы замещения нулевой последовательности. Затем схему свертывают относительно точки КЗ для определения результирующей величины сопротивления нулевой последовательности $X_{\Sigma 0}$ (рис. 1, в).

При определении сопротивлений любых схем замещения следует использовать формулы, приведенные в табл. 1.

2.4. Общий порядок аналитического расчета электрических сетей при КЗ.

После составления схем замещения электрической схемы и определения параметров их элементов возникает необходимость определения токов и напряжений как в месте повреждения, так и в любом заданном месте.

Для этого используются обычные методы, которые изучались в курсах "Теоретические основы электротехники" и "Электрические сети и системы".

1. Приведение схемы замещения к простейшему виду.

Для этого используются методы параллельного и последовательного сложения сопротивлений, преобразования треугольника в звезду и обратно, метод эквивалентных ЭДС.

Иногда в более сложных случаях при преобразовании схемы замещения возникает необходимость применения способа разреза схемы. Преобразование схемы выгодно вести так, чтобы аварийная ветвь по возможности была сохранена до конца преобразований или участвовала в них только на последних этапах.

2. При ручном расчете иногда бывает удобней использовать принцип наложения.

Для этого необходимо определять собственные и взаимные сопротивления схемы замещения.

В КР производятся расчеты начальной стадии переходного процесса при трехфазном и несимметричных (при однократной поперечной несимметрии) КЗ. В задачи этих расчетов входит определение действующего значения периодической слагающей тока КЗ в начальный момент времени ($I_{п0}$) - начального сверхпереходного тока (I''), а также ударного тока (i_y, I_y).

При выполнении расчетов используются все те допущения, которых были изложены ранее. Кроме них, в практических расчетах по определению начального сверхпереходного тока допускается равенство продольных и поперечных сверхпереходных реактивностей синхронных машин ($x''_d = x''_q$), вне зависимости от их типов, что значительно упрощает расчеты.

При расчетах несимметричных КЗ предполагается, что периодическая слагающая тока состоит только из основной гармоники, т.е. пренебрегают высшими гармониками.

2.5. Расчет начального значения периодической составляющей тока КЗ

2.5.1. Общие положения

При расчете $I_{П0}$ должны быть учтены все синхронные генераторы и компенсаторы, а также синхронные асинхронные двигатели мощностью 100 кВт и более если они не отделены от точки КЗ токоограничивающими реакторами или силовыми трансформаторами. В автономных системах следует учитывать и электродвигатели мощностью менее 100 кВт, если их доля в суммарном КЗ составляет не менее 5 %.

2.5.2. Расчетные параметры схемы замещения прямой последовательности

Синхронные и асинхронные машины в схему замещения прямой последовательности должны быть введены сверхпереходными сопротивлениями (x''_d) и сверхпереходными ЭДС численно равными, значениям этих ЭДС в момент, предшествующий КЗ (E''). При отсутствии данных по E'' значение ЭДС для различных элементов сети могут быть определены соответствии с табл. 1.

Нагрузка в схеме замещения учитывается приближенно, как источник со сверхпереходным сопротивлением $x''_H=0,35$ и ЭДС $E''_H=0.85$ (если не заданы другие величины).

Все остальные элементы сети входят с заданными параметрами, приведенными к одной базисной мощности, S_B (в о. е.), либо к одной ступени напряжения (в именованных единицах).

2.5.3. Составление эквивалентных схем прямой последовательности для различных видов КЗ и определение полных токов.

Для расчетов и анализа несимметричных КЗ важным выводом является правило эквивалентности прямой последовательности. Суть этого правила состоит в том, что ток прямой последовательности любого несимметричного КЗ можно определить как ток некоторого эквивалентного трехфазного КЗ, удаленного от действительной точки повреждения на дополнительное сопротивление $\Delta X^{(n)}$ (шунт КЗ), величина которого определяется результирующими сопротивлениями схем обратной и нулевой последовательности, ($x_{\Sigma 2}$ и $x_{\Sigma 0}$) относительно, места КЗ и зависит от вида КЗ. В соответствие с этим правилом эквивалентная схема прямой последовательности имеет вид, изображенный на рис. 2.

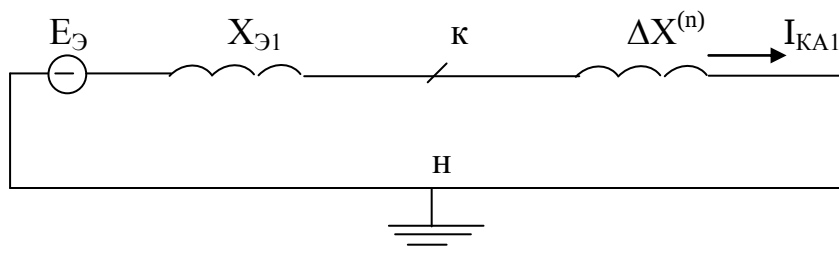


Рис.2

Ток прямой последовательности особой фазы (А) в месте КЗ при любом несимметричном КЗ (n) следует определять до формуле

$$I_{KA1}^{(n)} = \frac{E_{\Sigma}}{j(x_{\Sigma 1} + \Delta x^{(n)})} \quad (2)$$

где $\Delta x^{(n)}$ - дополнительное сопротивление (определяется в соответствии с табл. 2).

Схемы замещения всех трех последовательностей методом преобразований приводятся к простейшему виду. При этом определяются суммарные сопротивления схемы каждой последовательности относительно места КЗ $x_{\Sigma 1}$, $x_{\Sigma 2}$, $x_{\Sigma 0}$, а в схеме прямой последовательности E_{Σ} . При выполнении преобразований схем следует выбирать такую последовательность, чтобы число преобразований, особенно сложных, было наименьшим. Это обеспечивает меньшее количество ошибок в вычислениях и экономит расчетное время. В тоже время последовательность

преобразований должна быть такова, чтобы в последнюю очередь преобразовались те части схемы, в ветвях которых необходимо определить токи и остаточные напряжения. Таким образом, сокращается объем вычислений при обратном разворачивании схемы. Полный ток поврежденной фазы в месте КЗ равен

$$I_k^{(n)} = m^{(n)} \cdot I_{KA1}^{(n)} \quad (3)$$

где $m^{(n)}$ - коэффициент, показывающий, во сколько раз ток поврежденной фазы в месте КЗ больше тока прямой последовательности (табл. 2.)

Таблица 2

Вид КЗ	n	$\Delta x^{(n)}$	Значение коэффициента $m^{(n)}$
Трёхфазное	0	0	1
Двухфазное	2	$x_{\Sigma 2}$	$\sqrt{3}$
Однофазное	1	$x_{\Sigma 2} + x_{\Sigma 0}$	3
Двухфазное на землю	1.1	$\frac{x_{\Sigma 2} \cdot x_{\Sigma 0}}{x_{\Sigma 2} + x_{\Sigma 0}}$	$\sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{x_{\Sigma 2} \cdot x_{\Sigma 0}}{(x_{\Sigma 2} + x_{\Sigma 0})^2}}$

2.5.4. Определение симметричных, фазных токов и напряжений в месте КЗ и заданных сечениях.

Токи и напряжения обратной и нулевой последовательности в месте повреждения связаны определенными соотношениями с токами и напряжениями прямой последовательности для расчетной фазы, которые определяются видом повреждения. Если принять для всех несимметричных повреждений за расчетную фазу А, соотношения будут:

- для двухфазного КЗ

$$I_{KA2} = -I_{KA1}; U_{KA1} = U_{KA2} \quad (4)$$

- для однофазного КЗ

$$I_{KA1} = I_{KA2} - I_{KA0}; U_{KA1} + U_{KA2} + U_{KA0} = 0 \quad (5)$$

- для двухфазного на землю

$$I_{KA1} + I_{KA2} + I_{KA0} = 0; U_{KA1} = U_{KA2} - U_{KA0}$$

$$I_{KA2} = -I_{KA1} \frac{\Delta x^{(1,1)}}{x_{\Sigma 2}}; I_{KA0} = -I_{KA1} \frac{\Delta x^{(1,1)}}{x_{\Sigma 0}} \quad (6)$$

Полные токи в фазах соответственно:

$$I_{KA} = I_{KA1} + I_{KA2} + I_{KA0}$$

$$I_{KB} = a^2 I_{KA1} + a I_{KA2} + I_{KA0} \quad (7)$$

$$I_{KC} = a I_{KA1} + a^2 I_{KA2} + I_{KA0}$$

$$\text{где } a = e^{j120} = -0.5 + j \frac{\sqrt{3}}{2}; a^2 = e^{j240} = -0.5 - j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Напряжения различных последовательностей в месте повреждения находятся как (рис 1)

$$U_{KA1} = j I_{KA1} \cdot \Delta x^{(n)}$$

$$U_{KA2} = -j I_{KA2} \cdot x_{\Sigma 2} \quad (8)$$

$$U_{KA0} = -j I_{KA0} \cdot x_{\Sigma 0}$$

Полные напряжения отдельных фаз в месте повреждения определяются через соответствующие (U_{KA1} , U_{KA2} , U_{KA0}) по соотношениям, аналогичным для токов

$$U_{KA} = U_{KA1} + U_{KA2} + U_{KA0}$$

$$U_{KB} = a^2 U_{KA1} + a U_{KA2} + U_{KA0} \quad (9)$$

$$U_{KC} = a U_{KA1} + a^2 U_{KA2} + U_{KA0}$$

Для нахождения фазных токов и напряжений в заданном сечении необходимо произвести расчет токораспределений в схемах всех последовательностей, последовательно разворачивая каждую из них. Исходным для этих расчетов является получение значения токов и напряжений различных последовательностей в месте повреждений (рис 1).

При разворачивании схем пользуются известными правилами и законами распределения токов в линейных электрических цепях, для схем

прямой последовательности напряжение в какой - либо удаленной от места повреждения точке (m) будет определяться как

$$U_{ma1} = U_{ka1} + \sum_{i=1,n} I_{mi1} jx_{mi1} \quad (10)$$

где $\sum_{i=1,n} I_{mi1} jx_{mi1}$ - сумма падений напряжения в ветвях по пути от точки повреждения до заданной m;

I_{mi1} -ток ветвей с сопротивлением x_{mi1} ;

n-число ветвей на пути преобразования от точки n до m.

Напряжения обратной и нулевой последовательности в сечении "m" определяются

$$\begin{aligned} U_{ma2} &= U_{ka2} + \sum_{i=1,n} I_{mi2} jx_{mi2} \\ U_{ma0} &= U_{ka0} + \sum_{i=1,n} I_{mi0} jx_{mi0} \end{aligned} \quad (11)$$

Для этих схем по мере удаления расчетного сечения от места повреждения абсолютная величина напряжения уменьшается. Все преобразования выполняются по схеме замещений. При наличии на пути преобразования трансформаторов необходимо учесть, что взаимная ориентация векторов токов и напряжения различных последовательностей может изменяться, группой соединения обмоток этих трансформаторов.

Векторы напряжений и токов различных последовательностей при переходе через трансформаторы получают определенное угловое смещение. Поэтому полученные значения токов и напряжений в сечении (m) должны быть умножены на оператор поворота $e^{jp^{30}}$, в котором $p=(-1)^N$, в котором N - номер группы соединений обмоток трансформатора. При переходе через трансформаторы со схемой соединения обмоток Y/Y или Δ/Δ (группа 12) углового смещения нет. При переходе через трансформаторы с наиболее часто встречающейся группой Y/Δ-11 составляющие прямой последовательности поворачиваются на угол 30 градусов по направлению вращения векторов (e^{j30}), обратной последовательности на 30 градусов

против направления вращения векторов (e^{j30}). Поэтому выражения для напряжений U_{ma1} и U_{ma2} при одной трансформации будут иметь вид:

$$\begin{aligned} U_{ma1} &= (U_{ka1} + \sum_{i=1,n} I_{mi1} jx_{mi1}) e^{j30} \\ U_{ma2} &= (U_{ka2} + \sum_{i=1,n} I_{mi2} jx_{mi2}) e^{-j30} \end{aligned} \quad (12)$$

При переходе с треугольника на звезду - наоборот, прямая на (e^{-j130}), обратная на (e^{j30}). В общем случае, когда на пути разворачивания схемы встречается не одна трансформация, поворот должен быть учтен соответствующее число раз. Токи нулевой последовательности трансформируются лишь при переходе через трансформаторы со схемой соединения обмоток Y/Y.

Определив составляющие прямой, обратной и нулевой последовательностей расчетной фазы А, находятся полные токи и напряжений путем их геометрического суммирования по формулам (7) и (9).

Полные токи и напряжения фаз как в месте повреждения, так и в месте сечения могут быть получены и графически, путем вычерчивания векторных диаграмм на комплексной плоскости.

Следует помнить, что полученные значения, выражены в относительных единицах, при базисных условиях или именованных, приведенных к базисному напряжению. Для определения действительных значений токов и напряжений необходимо при переходе от относительных единиц учесть базисные условия:

$$\begin{aligned} I_{ma} &= I_{ma*} \cdot \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} U_{cp} m} \\ U_{ma} &= U_{ma*} \cdot \frac{U_{cp} m}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (13)$$

При переходе от базисных именованных единиц к действительным:

$$\begin{aligned} I_{ma} &= I_{ma} \left(\frac{U_{\delta}}{U_{cp} m} \right)^2 \\ U_{ma} &= U_{ma} \frac{U_{cp} m}{U_{\delta}} \end{aligned} \quad (14)$$

2.6. Расчет периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени

2.6.1. Синхронные генераторы к компенсаторы

В приближенных расчетах для определения действующего значения периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени гидро- и турбогенераторов мощностью до 500 МВт включительно и всех синхронных компенсаторов при радиальной схеме следует применять типовые кривые, приведенные на (рис. 3, б), которые характеризуют изменение этой составляющей во времени при различных удаленностях точки КЗ. Значение периодическое составляющей тока КЗ в произвольный момент времени отнесены к начальному значению этой составляющей т. е.

$$\gamma_t = \frac{I_{nt}}{I_{n0}} \quad (15)$$

Удаленность точки КЗ от синхронной машины характеризуется отношением действующего значения периодической составляющей тока этой машины в начальный момент КЗ к номинальному току машины (начальный относительный ток):

$$I_{n0*} = \frac{I_{n0}}{I_{ном}} \quad (16)$$

где $I_{ном}$ - номинальный ток синхронной машины (группы машин), приведенной к той ступени напряжения сети, где находится точка КЗ, кА:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} U_{cp,к} \cos \varphi_{ном}} \quad (17)$$

$\cos \varphi_{ном}$ - номинальный коэффициент мощности;

$U_{cp,к}$ - среднее номинальное напряжение сети той ступени напряжения, где находится точка КЗ, кВ.

Кривые рис. 3 следует использовать для расчетов действующего значения периодической составляющей тока КЗ от синхронных генераторов, имеющих тиристорную независимую или высокочастотную систему возбуждения, а также от синхронных компенсаторов, кривые рис. 4-5 - от синхронных генераторов, имеющих тиристорную систему самовозбуждения соответственно с последовательными трансформаторами и без последовательных трансформаторов, кривые рис. 6 от синхронных генераторов с диодной бесщеточной системой возбуждения.

Все кривые построены для синхронных генераторов (компенсаторов), у которых кратность предельного напряжения возбуждения по отношению к номинальному напряжению возбуждения не превышает двух. Для гидрогенераторов, имеющих повышенные кратности предельного напряжения возбуждения по отношению к номинальному напряжению возбуждения (больше двух) кривые рис. 3 допускается использовать только при небольшой удаленности точки КЗ, когда $I_{n0} > 3$. При большей удаленности точки КЗ периодическую составляющую тока КЗ следует принимать неизменной по амплитуде.

Если отношение действующего значения периодической составляющей тока синхронной машины в начальный момент КЗ к номинальному току менее двух, то КЗ следует считать удаленным и периодическую составляющую тока КЗ принимать неизменной по амплитуде.

Расчет действующего значения периодической составляющей КЗ от синхронного генератора (компенсатора) или нескольких однотипных синхронных генераторов (компенсаторов), находящихся в одинаковых условиях (однотипные генераторы и их системы возбуждения, примерно одинаковые мощности, одинаковые условия подключения к месту КЗ) по отношению к точке КЗ, следует вести в следующем порядке:

1. Составить схему замещения для определения начального значения периодической составляющей тока КЗ от синхронной машины (или группы машин) и найти относительный ток I_{*n0} ;
2. По кривой $\gamma_t = f(t)$, соответствующей найденному значению I_{*n0} , для за-

данного момента времени найти отношение токов $I_{nt} / I_{n0} = \gamma_t$;

3. Определить действующее значение периодической составляющей тока КЗ от синхронной машины (или группы машин) в кА в момент времени t :

$$I_{nt} = \gamma_t I_{n0} I_{ном} \quad (18)$$

2.6.2. Асинхронные двигатели

В приближенных расчетах для определения действующего значения периодической составляющей тока КЗ от асинхронных электродвигателей в произвольный момент времени при радиальной схеме следует использовать типовые кривые, приведенные на рис. 7, которые характеризуют наименьшее этой составляющей во времени при разных удаленностях точки КЗ. Значения периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент отнесены к начальному значению этой составляющей:

$$\gamma_{tAD} = \frac{I_{ntAD}}{I_{n0AD}} \quad (19)$$

Удаленность точки КЗ от асинхронного электродвигателя характеризуется отношением действующего значения периодической составляющей тока этого электродвигателя в начальный момент КЗ к его номинальному току (начальный относительный ток):

$$I_{*n0} = \frac{I_{n0AD}}{I_{номAD}} \quad (20)$$

Порядок расчета действующего значения периодической составляющей тока КЗ от асинхронного электродвигателя в произвольный момент времени аналогичен изложенному в п.2.6.1. Значение периодической составляющей тока в кА в момент времени t равно:

$$I_{ntAD} = \gamma_{tAD} I_{*n0} I_{ном} \quad (21)$$

2.6.3. Синхронные двигатели

При приближенных расчетах действующего значения периодической составляющей тока КЗ от синхронного двигателя в произвольный момент времени в радиальной схеме допускается использовать типовые кривые, приведенные на рис. 8, которые характеризует изменение этой составляющей

во времени при разных удаленностях точки КЗ. Методика нахождения токов от синхронных двигателей аналогична приведенной в п. 2.6.1, поэтому здесь больше не приводится.

2.6.4. Использование типовых кривых для определения несимметричных токов КЗ в сложных электрических системах

Порядок расчета следующий:

1. Составляются схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей. Обобщенные нагрузки в схемы не вводятся.
2. Расчетная схема прямой последовательности преобразуется к лучевому виду относительно точки КЗ (рис. 9).

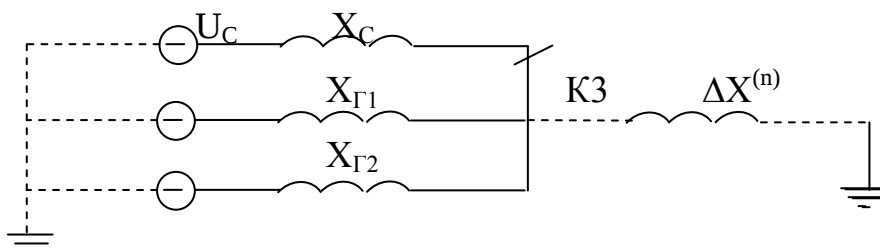


Рис. 9. Преобразование схем

3. По схемам замещения обратной и нулевой последовательностей определяется величина шунта-КЗ $\Delta x^{(n)}$ (табл. 2), который подключается к точке КЗ преобразованной схемы замещения прямой последовательности (рис.9).
4. Полученная схема вновь преобразуется к лучевому виду (например, с помощью коэффициентов токораспределения).
5. Определяется I_{*n0} , а затем все необходимые токи по выражениям (15-21). Для системы $I_{nt} - \frac{U_c}{X_c} = const$.
6. Для определений общего тока в месте КЗ суммируются токи от всех лучей схемы.

2.7. Определение ударного тока КЗ

Значение ударного тока и действующего значения ударного тока необходимо знать для проверки и выбора электротехнического оборудования в

системе. Под ударным током понимается наибольшее мгновенное значение полного тока КЗ.

В простых радиальных электрических схемах ударный ток трехфазного КЗ ($i_{уд}$) в кА следует определять по формуле

$$i_{y\partial} = m^{(n)} \sqrt{2} I_{n0} (1 + e^{-\frac{0.01}{T_a}}) - \sqrt{2} m^{(n)} I_{n0} k_{y\partial} \quad (22)$$

где $K_{уд}$ - удельный коэффициент;

T_a - постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, (табл. 4).

В сложных разветвленных электрических схемах ударный ток КЗ следует рассчитывать путем решения системы уравнение контурных токов или узловых потенциалов (при нулевых начальных условиях), составленных с учетом как индуктивных, так и активных сопротивлений всех элементов расчетной схемы.

При приближенных расчетах ударного тока КЗ в любой сложной схеме допускается использование формулы:

$$i_{y\partial} = I_{n0} (1 + e^{-\frac{0.01}{T_{a,эк}}}) m^{(n)} \quad (23)$$

где $T_{a,эк}$ - эквивалентная постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ.

Если точка КЗ делит схему на радиальные, не зависящие друг от друга ветви, то при приближенных расчетах ударный ток КЗ следует определять как сумму ударных токов отдельных ветвей:

$$i_{y\partial} = \sum_{i=1,n} \sqrt{2} I_{n0,i} (1 + e^{-\frac{0.01}{T_{ai}}}) m^{(n)} \quad (24)$$

где $I_{n0,i}$ - начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ в i -й ветви

Действующее значение ударного тока можно определить по выражению:

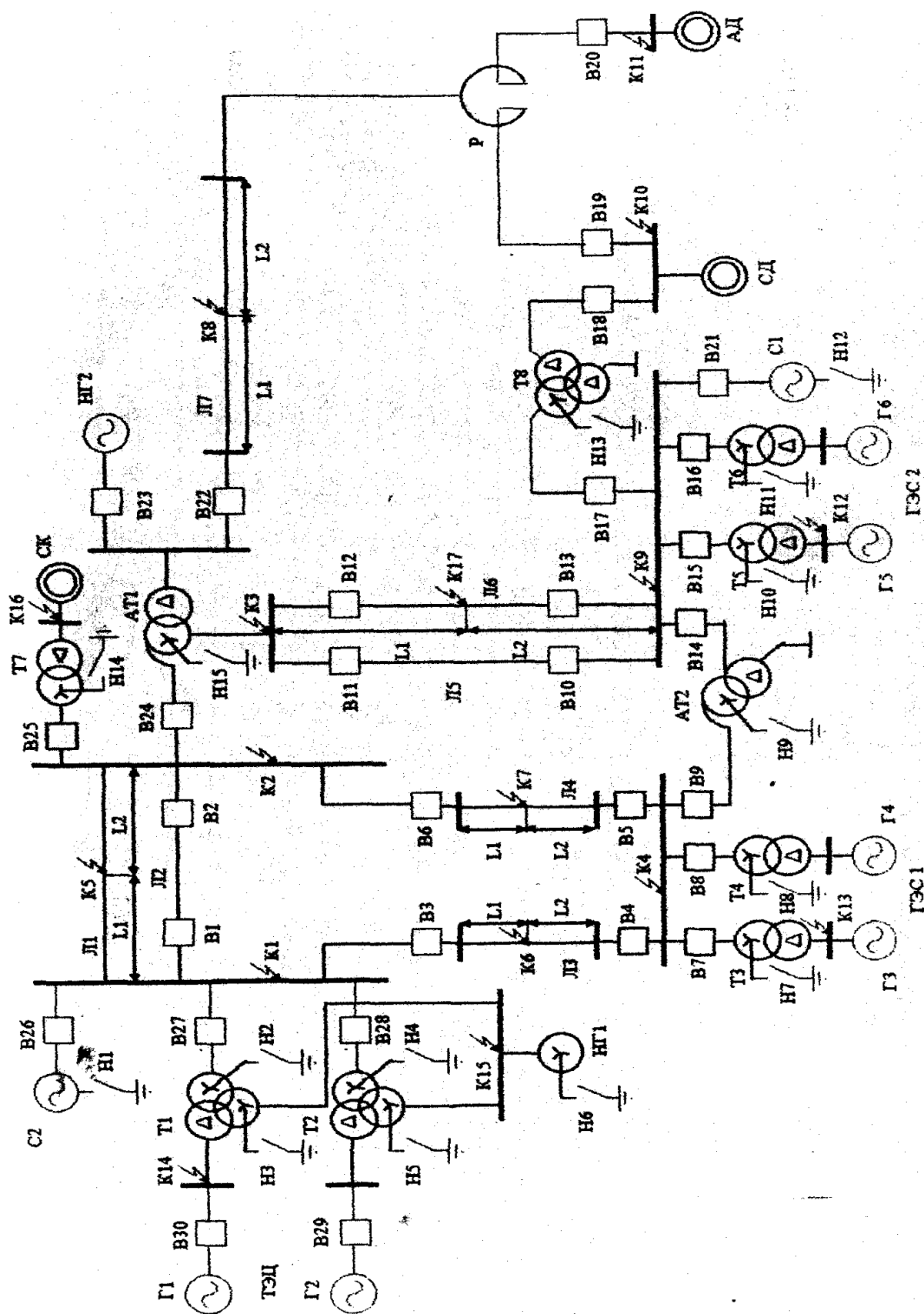
$$I_{y0} = m^{(n)} I_{n0} k \quad (25), \text{ где } k = \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2}$$

3. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

Темы, выносимые на самостоятельное изучение по курсу

№ п/п	Наименование темы
1	Симметричные составляющие прямой, обратной и нулевой последовательностей. Основные положения и формулы. Суть применения метода симметричных составляющих для расчета переходных режимов.
2	Однократная поперечная несимметрия. Двухфазное КЗ. Однофазное КЗ. Двухфазное КЗ на землю. Правило эквивалентности прямой последовательности. Комплексные схемы замещения. Практический расчет тока при несимметричных КЗ. Сравнение видов КЗ по величине тока. Применение практических методов к расчету несимметричных КЗ. Определение фазных величин токов и напряжений в любой точке сети.
3	Основные понятия и определения: режим ЭЭС, параметры режима и параметры системы. Требования, предъявляемые к установившимся и переходным режимам. Понятие устойчивости электрической системы.
4	Уравнения электромеханических процессов в синхронных генераторах. Уравнения электромеханических процессов в синхронных и асинхронных двигателях. Моменты сопротивления приводов.

4. ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ



Варианты коммутации	Выключатели В, находящиеся во включенном состоянии	Номер КЗ для раздела 1 задания	Сечение	Вид КЗ для разделов 2,4 задания	Номер КЗ для раздела 3 задания	Номер КЗ для разделов 2,4 задания	Номера замкнутых нейтралей
1	1-8; 10-13; 21; 23; 24; 27-30	K5	K13	1/2	K17	K5	4; 7; 12; 15
2	1-9; 14-18; 25; 26	K9	K10	1.1/1	K13	K1	1;7; 9; 10;13;14
3	1-8; 10-13; 16;21; 23; 24; 27;30	K14	K13	1.1/1	K9	K5	2; 7; 11; 12; 15
4	3-14; 17-23	K17	K8	1/2	K10	K7	6-9; 13; 15
5	1; 2; 8-16; 23-27	K3	K12	1/1.1	K4	K5	1;2;8-10;14;15
6	3; 4; 7-15; 21; 23; 24; 27; 30	K15	K12	1/1.1	K13	K1	2;3;6;7;9;15
7	1; 2; 10-20; 22-26	K2	K12	1.1/2	K17	K5	1;10;13-15
8	1; 2; 5; 6; 8-14; 17; 18; 21; 23; 24; 27-30	K5	K15	1/2	K17	K3	2; 3; 6; 8; 9; 12; 13; 15
9	3-9; 12-14; 16-20; 23; 24; 26	K10	K13	1.1/1	K6	K9	1; 7; 9;11;13;15
10	7-14; 17-22; 24-26	K11	K13	1.1/1	K8	K17	8; 9; 12-15
11	1-6; 9-18; 20; 22; 24; 26	K8	K12	1.1/2	K8	K1	1; 9; 13; 15
12	1; 2; 8-14; 17-20; 22; 24; 27-30	K4	K10	1.1/1	K14	K2	2; 3; 6; 8; 9; 15
13	7-20; 24-26	K13	K16	1.1/1	K5	K9	1; 7-9; 11;13-15
14	3-6; 9; 12-15;17-19;22-24;27-30	K14	K12	1.1/1	K8	K4	2-6; 10; 13; 15
15	1-14; 19;20; 22-24; 26	K4	K8	1/2	K10	K5	1; 7-9; 15

Наименование	P _н , МВт	cosφ	U _н , кВ	X'' _d , о.е.	X ₂ , о.е.	T _a , с	Предшествующий режим		
							U ₀ , о.е.	I ₀ , о.е	cosφ ₀
Г1, Г2	220	0,85	15,75	0,1906	0,232	0,311	1	0,9	0,82
Г3, Г4	40	0,8	10,5	0,16	0,2	0,142	0,9	0,98	0,8
Г5, Г6	25	0,85	10,5	0,18	0,22	0,187	1	0,96	0,84

Наименование	S _н , МВА	U _{нв} , кВ	U _{нс} , кВ	U _{нн} , кВ	U _{вн-сн} , кВ	U _{вн-нн} , кВ	U _{сн-нн} , кВ
T1, T2	250	230				11	
T3, T4	80	242				10,5	
T5, T6	40	121				11	
T7	125	242				11	
T8 с расщ. обм.	80	115			10,5	30	
AT1	125	230	121	6,3	11	47	26
AT2	125	230	121	11	11	45	28

Наименование	P _н , МВт	cosφ _н	U _н , кВ	X'' _d , о.е.	X ₂ , о.е.	T _a , с	Количество	Предшествующий режим		
								U ₀ , о.е.	U ₀ , о.е.	U ₀ , о.е.
АД	3,125	0,9	6	0,88	0,86		5	1	0,97	0,89
СД	1,25	0,86	6	0,88	0,89	0,036	5	1	0,97	0,89
СК	60	0,8	11	0,23	0,26	0,145		1,1	1	0,8
	Реактор	U _н , кВ	I _н , кА	X _p , %	K _{св}					
	P	6	23	12	0,5					

Наименование	U _н , кВ	R, Ом/км	X ₁ , Ом/км	L, км
Л1, Л2	230			200
Л3	230			50
Л4	230			100
Л5, Л6	110			80
Л7	6	0,129	0,07	2,6

Наименование	S _{кз} , МВА	S _н , МВА	U _н , кВ	E ₀ , о.е.	X ₁ , о.е.	X ₂ , о.е.	X ₀ , о.е.
C1	1500			1	0,85	0,87	2,5X ₁
C2	8000			1,15	0,95	0,97	2,6X ₁
НГ1		200	110	0,85	0,35	0,45	0,07
НГ2		10	6	0,85	0,35	0,45	0,45

План-график выполнения задания.

Работа над расчетно-графической работой может быть представлена в виде выполнения следующих этапов:

№ п/п	Наименование этапа	Сроки выполнения
1.	Получение задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении семестра
4.	Написание контрольной работы	В течении семестра
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении семестра
6.	Собеседование	На последнем практическом занятии

Критерии оценивания работы.

В целях повышения качества выполняемых РГР преподаватель руководствуется следующими критериями оценивания письменных работ студентов.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если

- своевременно выполнил работу; использовал актуальную основную и дополнительную литературу, нормативные акты;
- представил обоснование выбранной методики расчета; выбрал верную последовательность выполнения работы;
- произвел точные расчеты; предоставил обоснованные выводы по работе.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если

- своевременно выполнил работу; использовал достаточно актуальную основную и дополнительную литературу, нормативные акты; представил верную методику расчета;

- выбрал верную последовательность выполнения работы; произвел точные расчеты; предоставил выводы по работе.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если

- выполнил работу не вовремя; использовал неактуальную основную и дополнительную литературу, нормативные акты;

- представил верную методики расчета;

- выбрал верную последовательность выполнения работы; произвел неточные расчеты;

- не предоставил обоснованные выводы по работе.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если

- несвоевременно выполнил работу;

- использовал неактуальную основную и дополнительную литературу, нормативные акты;

- выбрал неверную последовательность выполнения работы;

- произвел неточные расчеты со значительными ошибками;

- не предоставил обоснованные выводы по работе.

Порядок защиты работы.

Написанная студентом расчетно-графическая работа сдается на кафедру. Студент защищает расчетно-графическую работу до экзамена (зачета) перед преподавателем.

Работа не допускается к защите, если она не носит самостоятельного характера, основные вопросы не раскрыты, изложены схематично, фрагментарно, в тексте и расчетах содержатся ошибки, работа не оформлена согласно общим требованиям.

В ходе защиты расчетно-графической работы задача студента — показать углубленное понимание вопросов конкретной темы, хорошее владение материалом по теме.

Защита расчетно-графической работы проходит в форме индивидуальной беседы студента с преподавателем по основным положениям работы.

Перечень основной литературы:

1. Пилипенко, В.Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: учебно-методическое пособие/ В.Т. Пилипенко; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2014. – 124 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=330565

10.1.2. Перечень дополнительной литературы:

1. Кувшинов А.А. Теория электропривода. Часть 3: Переходные процессы в электроприводе: учебное пособие/ А.А. Кувшинов, Э.Л. Греков; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2017. – 114 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=481766