



1

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по контрольной работе дисциплины  
«Переходные электромагнитные процессы в  
энергетических системах»  
для бакалавров направления подготовки  
13.03.02 «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»  
очной и заочной форм обучения

Ростов-на-Дону  
2022

УДК 621.316.925

Методические рекомендации по изучению дисциплины  
«Переходные электромагнитные процессы в энергетических системах»  
и выполнению контрольной работы

для бакалавров направления подготовки **13.03.02**  
**«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»** очной и заочной  
форм обучения / ДГТУ, Ростов н/Д, 2022. — 12 с.

Составили:

профессор ЦЫГУЛЁВ Н.И.  
доцент Шелест В.А.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «Переходные электромеханические процессы в энергетических системах»

### 1. Общие положения

Студенту необходимо использовать методические разработки по данной дисциплине, выдаваемые преподавателем на первом занятии и находящиеся на кафедре «Цифровые технологии и платформы в энергетике», у старосты группы, а также выставленные на сайте университета.

Студенту необходимо внимательно ознакомиться с содержанием курса по рабочей программе дисциплины, изучив все разделы.

Из рабочей программы необходимо скопировать:

- список рекомендованной литературы;
- наименования лекционных разделов курса;
- темы практических занятий;
- вопросы к экзамену;
- вопросы по тестам рейтинга.

### 2. Лекционные занятия (теоретический курс)

#### Рекомендации:

- перед очередной лекцией необходимо просмотреть по конспекту материал предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала надо обратиться к основным литературным источникам, включая компьютерную версию. Если разобраться в материале опять не удалось, обратитесь к лектору по графику его консультаций или на практических занятиях;
- ознакомиться с содержанием очередной лекции по основным источникам литературы в соответствии с рабочей программой дисциплины;
- обратить особое внимание на физическую сущность явлений (процессов) и графическое сопровождение основных рассматриваемых теоретических положений.

### 3. Практические занятия

#### Рекомендации:

- до очередного практического занятия по конспекту (или литературе) проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия;
- перед предстоящим занятием ознакомиться с основными задачами и литературой;
- в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения;
- иметь при себе конспект лекций;
- решение задачи всегда начинать с выражения, позволяющего получить конечный результат, а затем находить необходимые компоненты для его получения;
- на занятии доводить каждую задачу до окончательного решения, в случае затруднений обращаться к преподавателю;
- при необходимости дополнять решение требуемым в задачах графическим сопровождением;
- все расчётные величины должны иметь соответствующую размерность, а форма записи расчётов должна иметь вид: символы, числа, результат.

#### 4. Самостоятельная работа студентов

##### Рекомендации:

- руководствоваться графиком самостоятельной работы рабочей программы дисциплины;
- выполнять все плановые задания, выдаваемые преподавателем для самостоятельного выполнения, разбирать на практических занятиях, а также консультациях неясные вопросы;
- использовать тесты на ЭВМ для усвоения соответствующих разделов дисциплины (ауд. 315);
- при выполнении контрольных работ необходимо исходить из рекомендованных сроков преподавателем, но не позже, чем за 15 дней до окончания семестра. Этот временной график согласуется с изучением на практических занятиях материалом, входящим в эти работы, что позволяет студенту быстро освоить материал и выполнить работу;
- подготовка к текущему, промежуточному и рубежному контролю, осуществляется на практических занятиях, а также после занятий студента в лаборатории кафедры (ауд. 315);
- подготовка к экзамену проводится по вопросам рабочей программы дисциплины или по тестам всего курса дисциплины (ауд. 315);
- при подготовке к экзамену параллельно прорабатываются не только теоретические, но и практические разделы курса. Все неясные моменты фиксируются и выносятся на плановую консультацию.

#### 5. Рекомендации по выполнению контрольных работ для студентов заочной формы обучения

Студенты заочной формы обучения обязаны выполнить 2 контрольных работы по дисциплине «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах»

##### Основные этапы работы студента над контрольной работой:

- 1) подбор и изучение литературы по теме работы;
- 2) написание работы по предложенным вопросам;
- 3) оформление контрольной работы в целом;
- 4) проверка контрольной работы и подготовка к экзамену.

**I этап: Подбор и изучение литературы по теме работы.** Начинать работу нужно с подбора необходимой научной литературы по соответствующей теме. В первую очередь, это должны быть учебники и учебные пособия. Надо придерживаться списка рекомендуемой кафедрой литературы, так как он соответствует программе

дисциплины. Наряду с учебниками при написании контрольной работы можно пользоваться и периодическими изданиями, так как они необходимы для анализа современного состояния вопроса. Список основной и дополнительной литературы, рекомендованной кафедрой, приведен в рабочей программе по дисциплине. Вся рекомендуемая литература имеется в библиотеке на абонементе или в читальном зале.

**II этап: Написание контрольной работы.** Контрольная работа пишется техническим языком, не допускается использования бытовых речевых оборотов, разговорной речи, а также дословное переписывание материала из литературных источников. Обязательным является использование современных аналитических и статистических материалов, Интернет-сайтов международных организаций и компаний и т.д. Текстовая часть работы должна содержать чёткий и развёрнутый ответ на теоретический вопрос. По мере необходимости текстовый материал дополняется графиками, формулами и таблицами. Целесообразно показать особенности того или иного явления в современных условиях (для этого используйте статьи из периодических изданий).

**III этап: Оформление контрольной работы.** Контрольная работа должна быть оформлена (желательно) следующим образом. Текст оформляется в текстовом редакторе *Word for Windows*. Тип шрифта: *Times New Roman Cyr*. Шрифт основного текста: обычный, размер 14 пт. Шрифт заголовков разделов: полужирный, размер 16 пт. Шрифт заголовков подразделов: полужирный, размер 14 пт. Межсимвольный интервал обычный, межстрочный интервал - одинарный.

Иллюстрации должны быть вставлены в текст. Текст отчёта выполняется на листах формата A4 (210x297 мм) без рамки, соблюдая следующие размеры полей: левое - не менее 20 мм, правое - не менее 10 мм, верхнее - не менее 20 мм, нижнее - не менее 20 мм. Страницы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту. Номер страницы проставляют сверху страницы от центра.

Работу следует сброшюровать. Допускается выполнение работы и в письменной форме в обычной школьной тетради. В этом случае она должна быть написана аккуратно, разборчиво, без помарок и сокращений (кроме общепринятых), на листах с полями для пометок преподавателя. На титульном листе обязательно указываются: дисциплина, название темы, ФИО преподавателя, ФИО студента, факультет, группа, направление подготовки. Далее следует содержание (план) работы и её основная часть. В конце работы приводится список использованных литературных источников. Список использованных источников начинается с указания монографий и учебников в алфавитном порядке авторов или названий работ. Затем указываются статьи из периодических изданий. В завершении приводятся ресурсы Интернет. На первой странице (титульном листе) студент должен расписаться и поставить дату сдачи работы на проверку.

**IV этап: Проверка контрольной работы и допуск к экзамену.** Выполненная работа отмечается в деканате и сдаётся **на кафедру** преподавателю или заведующему лабораторией. Срок рецензирования - 2 недели с момента сдачи на кафедру. Проверив работу, преподаватель в рецензии проставляет оценку «зачтена» или «не зачтена», а также отмечает её недостатки и даёт вопросы к собеседованию. Оценка «зачтено» предполагает, что студент допускается к сдаче экзамена по дисциплине «Электромагнитные переходные процессы». К экзамену студент должен освоить все темы программы курса. Примерный перечень вопросов к экзамену представлен в Рабочей программе дисциплины. При подготовке к экзамену тщательно проработайте лекционный и учебный материал и, если возникают какие-либо затруднения, - обратитесь за консультацией к преподавателю.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1, часть 1.

Контрольная работа № 1, часть 1 включает в себя два теоретических вопроса и четыре задачи. Номера вариантов выбирается по последней цифре номера зачётной книжки.

### Теоретический вопрос №1

1. Короткие замыкания. Причины, виды, последствия.
2. Назначение расчётов токов КЗ. Основные требования и допущения.
3. Система относительных величин (единиц).
4. Формулы для определения сопротивлений основных элементов энергосистем в именованных единицах.
5. Формулы для определения сопротивлений основных элементов энергосистем в относительных единицах.
6. Модели синхронных генераторов, силовых трансформаторов (автотрансформаторов), линий электропередачи, кабелей, реакторов, электрических двигателей, обобщённой нагрузки, системы для расчёта токов КЗ.
7. Эквивалентные преобразования электрических схем (преобразование двух параллельно включённых источников ЭДС с различными ЭДС и внутренними сопротивлениями, преобразование звезды в треугольник и обратное преобразование).
8. Порядок расчёта тока КЗ в именованных единицах.
9. Порядок расчёта тока КЗ в относительных единицах.
10. Точное и приближённое приведение коэффициентов трансформации при выполнении расчётов токов КЗ.

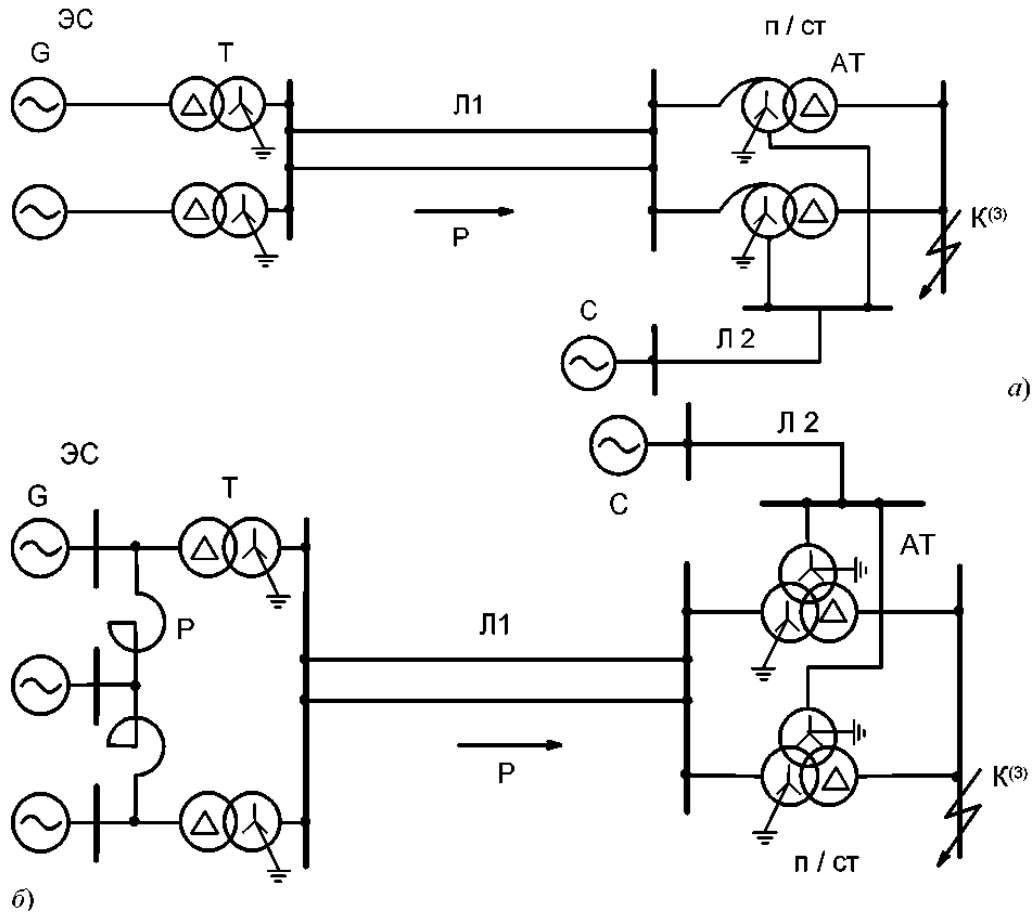
### Теоретический вопрос № 2.

1. Дифференциальные уравнения синхронной машины в фазных координатах. Что такое ударный ток и ударный коэффициент.
2. Схема замещения синхронной машины в переходном режиме. Выражение для переходного тока КЗ с максимальной апериодической составляющей.
3. Схема замещения синхронной машины в сверхпереходном режиме в продольной оси. Когда возникают апериодические составляющие токов.

4. Схема замещения синхронной машины в сверхпереходном режиме в поперечной оси. Что отражает постоянная времени электрической цепи.
5. Качественно нарисовать и объяснить вид кривой зависимости периодической слагающей тока при КЗ на зажимах синхронного генератора без демпферных обмоток и отключённом АРВ. Пределы изменения  $k_{yd}$ .
6. Качественно нарисовать и объяснить вид кривой зависимости периодической слагающей тока при КЗ на зажимах синхронного генератора с демпферными обмотками и отключённом АРВ.
7. Влияние АРВ на вид кривой периодической слагающей тока при КЗ на зажимах синхронного генератора. Действующее значение ударного тока КЗ.
8. Поведение синхронного двигателя в первый момент времени после КЗ на его зажимах. Цель расчёта  $i_{yd}$  и  $I_{yyd}$ .
9. Поведение асинхронного двигателя в первый момент времени после КЗ на его зажимах. Цель расчёта  $i_{yd}$  и  $I_{yyd}$ .
10. Поведение обобщённой нагрузки в первый момент времени после КЗ на её зажимах. Что такое ударный ток и ударный коэффициент.

**ЗАДАЧА 1.** Произвести расчёт сверхпереходного тока КЗ при трёхфазном повреждении в точке  $K$  для схем участков энергосистемы, приведенных на рис. 1.1, именованных и относительных базисных единицах с точным и приближённым приведением коэффициентов трансформации. Генераторы до возникновения повреждения работали в номинальном режиме.

Параметры основных элементов схем приведены таблице. Недостающие параметры элементов схемы выбираются в следующем порядке: выбирается количество (количество параллельно включённых элементов должно быть не менее двух, все параллельно работающие элементы рекомендуется выбирать однотипными) и мощность генераторов (ТГ-турбогенераторы, ГГ-гидрогенераторы) электростанции (ЭС), количество и мощность трансформаторов ЭС (суммарная мощность всех трансформаторов ЭС должна быть не менее полной мощности всех генераторов), параметры линии Л1 выбирается по напряжению и мощности ЭС (должна передать всю мощность ЭС), длина линии Л2 выбирается по напряжению обмотки среднего напряжения трёхобмоточного трансформатора или автотрансформатора подстанции (п/ст). Погонные сопротивления линий выбираются из приложения 4. Параметры элементов схем приведены таблице. Длина кабеля выбирается по напряжению. Студенты, последняя цифра номера студенческого билета, которых нечётная - расчёт производят для схемы а), чётная - для схемы б).



**Рис.1.1 Схемы для контрольного задания і**

№ п.п	После дня цифра шифра	Схема на рис. 1.11	Тип генераторов	$P_{ген.},$ МВт	Мощность (авто) Трансформаторов п/ст, МВА	Сопротивление системы, Ом
1	1	а)	ГГ	3х200	120-150	19
2	2	а)	ТГ	4х200	120-150	17
3	3	а)	ТГ	3х300	200-260	27
4	4	а)	ГГ	700-900	200-260	25
5	5	а)	ГГ	1200-1400	800-1000	29
6	6	а)	ТГ	1600-1800	900-1000	21
7	7	б)	ТГ	3х100	120-140	13
8	8	б)	ТГ	4х100	120-140	15
9	9	б)	ТГ	2х200	150-260	17
10	0	б)	ТГ	3х200	190-260	19



	ЭДС генераторов ЭС	Результирующее сопротивление ветви КЗ	Токи КЗ, кА
Именованные единицы (точное приведение коэффициентов трансформации)			
Именованные единицы (приближённое приведение коэффициентов трансформации)			
Относительные базисные единицы (точное приведение коэффициентов трансформации)			
Относительные базисные единицы (приближённое приведение коэффициентов трансформации)			

**ЗАДАЧА 2.** Произвести расчёт сверхпереходного тока КЗ для заданного участка энергосистемы (рис. 1.2) при трёхфазном КЗ в точке  $K$  в именованных и относительных базисных единицах с точным и приближённым приведением коэффициентов трансформации. Синхронные электродвигатели до возникновения повреждения работали с нагрузкой 90% от номинальной, асинхронные - 80%. Параметры элементов схем приведены таблице. Длина кабеля выбирается по напряжению. Студенты, последняя цифра номера студенческого билета, которых нечётная - расчёт производят для схемы а), чётная - для схемы б)

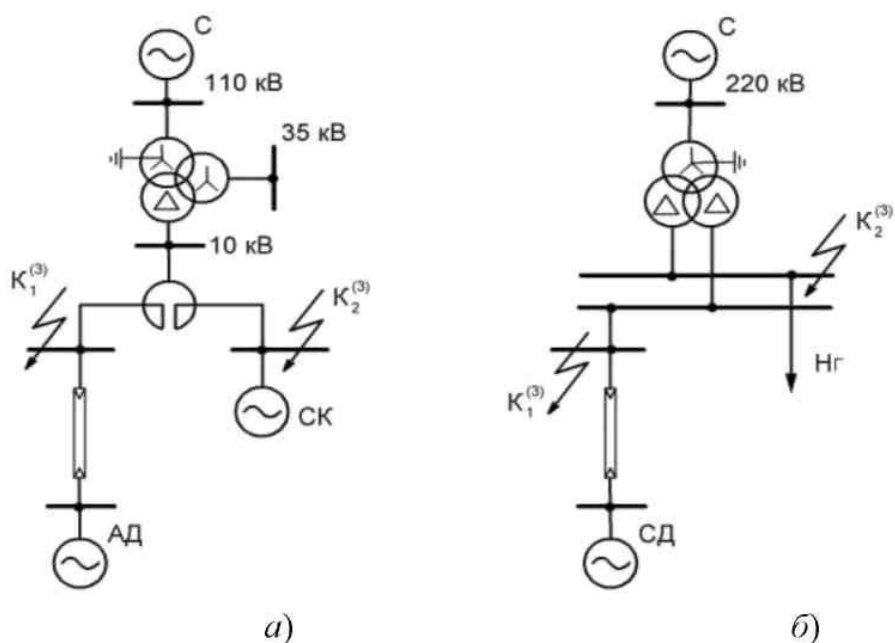


Рис.1.2 Схемы для контрольного задания 2

№ п.п.	Последняя цифра шифра	Схема на рис. 1.16	$S_c$ , МВА	МВА	МВАр	МВА	$P_{сд>}$ МВт	$P_{АД>}$ МВт	Ток реактора, кА
1	1	а)	500	50-150	17	11			0,63
2	2	б)	2100	90-140			5x0,4	7x0,4	
3	3	а)	700	70-150	17	11			0,63
4	4	б)	2300	110-210			5x1,25	9x0,63	
5	5	а)	700	140-210	17	13			0,63
6	6	б)	2500	160-210			3x6,3	3x0,8	
7	7	а)	900	150-220	33	15			2,5
8	8	б)	2700	210-300			3x10,0	5x1,0	
9	9	а)	1500	190-260	67	17			2,5
10	0	б)	2900	260-410			3x10,0	7x1,25	

ЗАДАЧА 3. Используя данные задачи №1 произвести расчёт ударного тока КЗ при трёхфазном КЗ (в заданной на схеме рис. 1.1 точке КЗ) в относительных базисных единицах с приближённым приведением коэффициентов трансформации. Длину и сечение линий выбрать по их номинальным напряжениям.

Активные сопротивления генераторов и трансформаторов, определить используя данные табл.4.1, воздушных линий - используя данные приложения 6.

ЗАДАЧА 4. С помощью типовых кривых произвести расчёт периодической слагающей тока КЗ, используя исходные данные задачи №1. Влиянием системы пренебречь. Построить кривую изменения тока во времени. Объяснить её вид.

#### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1, часть 2.

Контрольная работа № 1, часть 2 включает в себя два теоретических вопроса и задачу. Номера вариантов выбираются по последней цифре зачётной книжки.

##### Теоретический вопрос №1

1. Назначение и сущность метода симметричных составляющих.
2. Основные уравнения метода симметричных составляющих.
3. Сопротивление электрических машин токам обратной последовательности.
4. Схемы замещения трансформаторов при протекании токов нулевой последовательности.
5. Сопротивление линий электропередачи токам нулевой последовательности.
6. Схемы замещения отдельных последовательностей.
7. Двухфазное короткое замыкание. Расчёт токов и напряжений. Построение векторных диаграмм.
8. Однофазное короткое замыкание. Расчёт токов и напряжений. Построение векторных диаграмм.
9. Двухфазное короткое замыкание на землю. Расчёт токов и напряжений. Построение векторных диаграмм.
10. Правило эквивалентности прямой последовательности.

##### Теоретический вопрос №2

1. Расчёт начального тока при трёхфазном КЗ.
2. Расчёт тока при несимметричном КЗ.
3. Расчёт периодической слагающей тока короткого замыкания с помощью типовых кривых.
4. Проверка выключателя по предельному сквозному току.
5. Проверка термической устойчивости выключателя.
6. Проверка отключающей способности выключателя.
7. Расчёт теплового импульса тока КЗ.
8. Дифференциальное уравнение теплового баланса для линии.
9. Изменение параметров ферромагнитных проводников.
10. Распределение и трансформация токов и напряжений отдельных

последовательностей

## ЗАДАЧА

Произвести расчёт действующего значения сверхпереходного тока КЗ при трёхфазном, двухфазном, однофазном и двухфазном КЗ на землю на шинах высокого напряжения электрической станции (ЭС) для схем участков энергосистемы, приведенных на рис. 1.1 в относительных базисных единицах с приближённым приведением коэффициентов трансформации. Генераторы до возникновения повреждения работали в номинальном режиме.

Параметры основных элементов схем приведены в таблице. Недостающие параметры элементов схемы выбрать в соответствии с приведенными выше рекомендациями. Все параллельно работающие элементы сети рекомендуется выбирать однотипными. Принять, что все трансформаторы состоят из группы однофазных трансформаторов. Длина линии Л1 выбирается по мощности электростанции, длина Л2 - по напряжению обмотки среднего напряжения (автотрансформатора подстанции (п/ст)). Погонное сопротивление прямой последовательности линии выбирается по номинальному напряжению линии. От ударов молнии линии защищены стальными грозозащитными тросами, заземленными на каждой опоре.

Последняя цифра а шифра	Схема на рис. 1.12	Тип генераторов	$P_{ЭС}, \text{МВт}$	Мощность п/ст, МВА	Сопротивление системы, $X_1, \text{Ом}$	Сопротивление системы, $X_0, \text{Ом}$
1	а)	ГГ	170-220	120-150	18	26
2	а)	ТГ	2x100	120-150	16	24
3	а)	ТГ	3x100	200-260	25	32
4	а)	ГГ	750-810	200-260	22	31
5	а)	ГГ	1150-1400	800-900	26	33
6	а)	ТГ	4x100	900-980	23	30
7	б)	ТГ	50-60	120-140	9	12
8	б)	ТГ	2x300	120-140	11	16
9	б)	ТГ	3x300	150-260	12	18
0	б)	ТГ	4x200	190-260	14	17

Результаты расчётов свести в таблицу

Вид КЗ	ЭДС источника	Сопротивление	Сопротивление	Токи КЗ, кА
$K^{(3)}$				
$K^{(2)}$				
$K^{(1)}$				
$K^{(1,1)}$				