

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Амурский государственный университет»



«Кадры для регионов»



ФГБОУ ВПО «Амурский государственный  
университет»

Учебное пособие подготовлено в рамках реализации проекта о  
подготовке высококвалифицированных кадров для предприятий и  
организаций регионов («Кадры для регионов»)

Ю.В. Мясоедов, Л.А. Мясоедова, И.Г. Подгурская

# **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

*Методические указания к самостоятельной работе*

Благовещенск  
Издательство АмГУ  
2014

***Разработано в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера ОАО «Дальневосточная распределительная сетевая компания»***

*Рецензенты:*

*Кантовский Юрий Борисович, зам. генерального инженера по оперативно-технологическому управлению-начальник департамента ОАО «ДРСК»*

*Рыбалев Андрей Николаевич – канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «АмГУ».*

Э45 Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: Методические указания к самостоятельной работе/ Сост.: Ю.В. Мясоедов, Л.А. Мясоедова, И.Г. Подгурская - Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. – 87 с.

Методические указания к самостоятельной работе предназначены для подготовки бакалавров по направлению «Электроэнергетика и электротехника», формирующих специальные знания в области переходных процессов на разных пространственно-временных иерархиях с использованием математических моделей сложных систем и применением инновационных технологий.

В методических указаниях даны структура, задания и методика реализации всех видов самостоятельных работ в соответствии с учебной программой курса.

***В авторской редакции***

©Амурский государственный университет, 2014

© Мясоедов Ю.В., Мясоедова Л.А., Подгурская И.Г., 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>ВВЕДЕНИЕ</i>	4
1 Организация самостоятельной работы	5
1.1 Цели и задачи самостоятельной работы	5
1.2 Задачи профессиональной деятельности выпускника	6
1.3 Цели и задачи освоения дисциплины	9
1.4 Структура и содержание «электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах»	11
2 Организация СРС	12
3 Задания на самостоятельную работу	16
4 Фонд тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний	32
5 Тестовые задания	36
6 Контрольные работы	68
7 Вопросы для самопроверки	78
<i>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</i>	86

## *ВВЕДЕНИЕ*

Данные методические указания предназначены для самостоятельной работы по дисциплине «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» студентов, обучающихся по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника».

Назначением методических указаний является оказание помощи в получении необходимых дополнительных знаний в области переходных процессов на разных пространственно-временных иерархиях с использованием математических моделей сложных систем и применением инновационных технологий.

В методических указаниях даны структура, задания и методика реализации всех видов самостоятельных работ в соответствии с учебной программой. При самостоятельном выполнении различных видов заданий студенты учатся осваивать новый материал, работать с руководящими документами (материалами), научной литературой.

Самостоятельная работа позволит студентам математические модели различных элементов электроэнергетической системы, получить знания в области практических методов расчета токов короткого замыкания; изучить методы и алгоритмы расчетов токов и напряжений при несимметричных коротких замыканиях и обрывах фаз, в том числе и с помощью промышленных программно-вычислительных комплексов; сформировать системные и профессиональные компетенции по расчету переходных процессов и устойчивости в узлах нагрузки, а также асинхронных режимов.

## **1 Организация самостоятельной работы**

При самостоятельной работе над разделами теоретического курса слушателям необходимо:

самостоятельно изучить дополнительные материалы по программе теоретического курса в соответствии с индивидуальным планом подготовки составленным дополнительно к учебно-тематическому плану учебной дисциплины в зависимости от уровня подготовки или специализации научных исследований;

подготовить устные ответы на контрольные вопросы, приведенные после каждой темы;

пройти тестирование.

Темы на самостоятельное изучение преподаватель выдает студентам на консультациях после собеседования или входного контроля.

### **1.1 Цели и задачи самостоятельной работы**

В результате самостоятельной работы по дисциплине «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» студенты должны научиться осваивать новый материал, работать с нормативно-законодательной (справочной) базой и научной литературой, принимать самостоятельные решения при решении поставленных задач.

Задачи самостоятельной работы следующие: освоение студентами математических моделей различных элементов электроэнергетической системы – синхронных генераторов, асинхронных электродвигателей, трансформаторов и др., - отражающих особенности переходных процессов в этих элементах; получение знаний в области методов исследования переходных процессов, практических методов расчета токов короткого замыкания; изучение методов и алгоритмов расчетов токов и напряжений при несимметричных коротких замыканиях и обрывах фаз, в том числе и с помощью промышленных программно-вычислительных комплексов; овладение методами оценки

практических критериев устойчивости, способами анализа динамической и статической устойчивости; формирование системных и профессиональных компетенций по расчету переходных процессов и устойчивости в узлах нагрузки, а также асинхронных режимов.

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к следующим видам профессиональной деятельности выпускника:

- проектно-конструкторская;
- производственно-технологическая;
- научно-исследовательская;
- организационно-управленческая;
- монтажно-наладочная;
- сервисно-эксплуатационная.

## **1.2. Задачи профессиональной деятельности выпускника**

Дисциплина направлена на подготовку бакалавров к решению следующих профессиональных задач, указанных в ФГОС ВПО.

а) производственно-технологическая деятельность:

- организация рабочих мест, их техническое оснащение, размещение технологического оборудования;
- контроль за соблюдением технологической дисциплины;
- обслуживание технологического оборудования;
- организация метрологического обеспечения технологических процессов, использование типовых методов контроля качества выпускаемой продукции;
- участие в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки и производства новой продукции;
- оценка инновационного потенциала новой продукции;
- контроль за соблюдением экологической безопасности;
- подготовка документации по менеджменту качества технологических процессов, составление и оформление оперативной документации;

б) проектно-конструкторская деятельность:

- сбор и анализ данных для проектирования;
- расчет и проектирование технических объектов в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования;
- разработка проектной и рабочей технической документации, оформление проектно-конструкторских работ;
- контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам;
- проведение предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов;

в) научно-исследовательская деятельность:

- изучение научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;
- математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов прикладных программ автоматизированного проектирования и исследований;
- проведение экспериментов по заданной методике, составление описания проводимых исследований и анализ результатов;
- подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций;
- организация защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований;
- составление отчета по выполненному заданию, участие во внедрении результатов исследований и разработок;

г) организационно-управленческая деятельность:

- составление технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам;
  - выполнение работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
  - организация работы малых коллективов исполнителей;
  - планирование работы персонала и фондов оплаты труда;
  - подготовка данных для выбора и обоснования технических и организационных решений на основе экономического анализа;
  - проведение организационно-плановых расчетов по созданию (реорганизации)
    - производственных участков;
    - разработка оперативных планов работы первичных производственных подразделений;
  - проведение анализа затрат и результатов деятельности производственных подразделений
- д) монтажно-наладочная:
- монтаж, наладка и испытания электроэнергетического и электротехнического оборудования;
- е) сервисно-эксплуатационная деятельность:
- проверка технического состояния и остаточного ресурса электроэнергетического и электротехнического оборудования, организация профилактических осмотров и текущего ремонта;
  - приемка и освоение вводимого электроэнергетического и электротехнического оборудования;
  - составление заявок на оборудование и запасные части, подготовка технической документации на ремонт;
  - составление инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.



### 1.3. Цели и задачи освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах», являются формирование систематизированных знаний в области переходных процессов как в энергетической системе в целом, так и в отдельных ее элементах, приобретение студентами навыков их расчета при трехфазных и несимметричных коротких замыканиях, а также при обрывах фаз, навыков расчета и анализа статической и динамической устойчивости электрических систем и узлов нагрузки с учётом действия систем автоматического регулирования и управления.

Эти знания позволят выпускникам успешно решать задачи в профессиональной деятельности, связанной с проектированием и функционированием электрических сетей энергообъектов и энергопредприятий.

Задачи дисциплины:

- освоение студентами математических моделей различных элементов электроэнергетической системы – синхронных генераторов, асинхронных электродвигателей, трансформаторов и др., - отражающих особенности переходных процессов в этих элементах;
- получение знаний в области методов исследования переходных процессов, практических методов расчета токов короткого замыкания;
- изучение методов и алгоритмов расчетов токов и напряжений при несимметричных коротких замыканиях и обрывах фаз, в том числе и с помощью промышленных программно-вычислительных комплексов;
- овладение методами оценки практических критериев устойчивости, способами анализа динамической и статической устойчивости;
- формирование системных и профессиональных компетенций по расчету переходных процессов и устойчивости в узлах нагрузки, а также асинхронных режимов.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) Знать:

физику электромагнитных переходных процессов в синхронных и асинхронных машинах, трансформаторах, узлах комплексной нагрузки и электроэнергетической системе в целом особые режимы электрических сетей;

методы расчетов токов короткого замыкания (КЗ), токов и напряжений при продольной не симметрии и сложных видах повреждений;

методы анализа статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем с учетом действия систем автоматического регулирования и управления;

основные мероприятия по обеспечению статической, динамической и результирующей устойчивости систем, а также электромеханических процессов в системах электроснабжения.

2) Уметь:

составлять расчетные схемы замещения для расчета переходных процессов.

составлять расчетные схемы и соответствующие схемы замещения по отношению к токам прямой, обратной и нулевой последовательностей;

определять параметры различных элементов этих схем разными методами.

3) Владеть навыками:

расчетов переходных процессов при трехфазных и несимметричных коротких замыканиях, а также при обрывах фаз;

практических расчетов различных видов КЗ;

практического анализа устойчивости режимов электрических систем.

В процессе освоения данной дисциплины бакалавр формирует и демонстрирует следующие профессиональные компетенции:

способностью демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовностью использовать основные законы

в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-2);

способностью рассчитывать режимы работы электроэнергетических установок различного назначения, определять состав оборудования и его параметры, схемы электроэнергетических объектов (ПК-16);

готовностью участвовать в исследовании объектов и систем электроэнергетики и

электротехники (ПК-38);

способностью выполнять экспериментальные исследования по заданной методике,

обрабатывать результаты экспериментов (ПК-44).

#### 1.4. Структура и содержание «электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Модуль дисциплины	Неделя	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			ЛК	ПЗ	ЛР	СР	
1	Модуль 1. Переходные процессы в трехфазных цепях	1-4	18	6	6	6	1,3 недели – блиц-опрос на лекции; 2,4 недели – опрос на практике, защита индивидуального домашнего задания
2	Модуль 2. Практические методы расчетов коротких замыканий	5-8	18	6	6	6	5,7 недели - блиц-опрос на лекции, коллоквиум; 6,8 недели - опрос на практике, защита индивидуального домашнего задания
3	Модуль 3. Поперечная и продольная несимметрии	9- 12	18	6	6	6	9,11 недели - блиц-опрос на лекции, коллоквиум; 10,12 недели - опрос на практике, защита индивидуального домашнего задания
4	Промежуточная аттестация						Экзамен КП-36 час.

Примечания: ЛК – лекции, ПЗ – практические занятия, ЛР – лабораторные работы, СР – самостоятельная работа, КП – курсовая работа.

## 2. Организация СРС

Выполнение домашних заданий и контрольных работ предусматривает использование учебно-методического пособия Мясоедов Ю.В., Гоголева Л.Б. Расчет симметричных и несимметричных коротких замыканий в системах электроснабжения., в котором приведены методические указания и рекомендации, даны краткие теоретические сведения и подробно показаны примеры решения задач.

Следует помнить о том, что при изучении отдельных теоретических вопросов курса используются знания, полученные в ранее изученных дисциплинах.

Студент выполняет вариант, соответствующий последним двум цифрам его шифра.

Задания на самостоятельную работу подобраны таким образом, что полностью совпадают с тематикой практических занятий. В процессе самостоятельной работы студенты должны усовершенствовать полученные знания из курса лекций и закреплённые на практических занятиях.

*Тема 1. Система относительных единиц. Схемы замещения и их параметры. Способы преобразования схем замещения.* При изучении данного материала необходимо получить ясное представление об определении параметров схем замещения при заданных сопротивлениях отдельных элементов схемы замещения в Омах или в относительных единицах. Оценить какие преимущества и недостатки имеют системы относительных единиц по сравнению с системой именованных единиц. Усвоить выражения для определения в относительных величинах сопротивлений различных элементов схемы при точном и приближенном их приведении к общим условиям (базисным). Уяснить выбор расчетных условий режима к. з. в зависимости от назначения расчета и возможность применять различные допущения для упрощения расчетов токов к.з. Представлять, что определяет мощность к.з. в системе и для каких режимов сети она задается. Представлять себе на чем

основано составление приближенной схемы приведения (приближенное приведение) и к чему сводится составление схемы замещения.

*Тема 2. Переходные процессы в сети с источником бесконечной мощности. Влияние нагрузки на ток к.з. Пуск двигателей как короткое замыкание. Взаимное влияние двигателей при пуске.* Выяснить из каких слагающих состоит кривая изменения тока при внезапном к.з. в неразветвленной цепи, питаемой от источника бесконечной мощности, оценить характер их изменения во времени. Рассмотреть какое влияние оказывает предшествующий ток на величину апериодической слагающей тока к.з., каково максимального значения может достигать последняя. Уяснить при какой фазе включения и в какой момент времени после возникновения к.з. наступает максимум мгновенного значения полного тока. Рассмотреть определение эквивалентной постоянной времени  $T_{a-э}$  и ее практическую оценку. Изучить определение установившегося тока генератора при к.з. на его выводах при известных номинальных данных. Оценить влияние на режим к.з. нагрузки и ее в расчетах. Рассмотреть режимы генераторов при наличии АРВ в установившемся режиме к.з.

*Тема 3. Определение составляющих тока к.з. в начальный момент времени. Расчет ударного тока короткого замыкания.* Рассмотреть упрощающие условия, которые принимают при определении ударного тока КЗ и что показывает ударный коэффициент, оценить каковы пределы его изменений. Уяснить какие упрощения принимают при определении действующих значений полных величин отдельных слагающих тока к.з. Получить представление о пренебрежении при расчетах токов к.з. контуром намагничивания трансформаторов

*Тема 4. Метод типовых кривых. Определение токов к.з. для заданного момента времени.* При расчётах режимов переходных процессов К.З., т.е. когда учитывается изменение процесса во времени от начального режима до установившегося режима К.З., обычно пользуются методом типовых кривых. Метод типовых кривых наиболее прост для практического применения, но он

позволяет с достаточной точностью определять ток только в точке К.З. Следует уяснить, что для применения типовых кривых нужно определить расчётное сопротивление генерирующих ветвей, т.е. удалённость места К.З., приведённого к номинальным данным эквивалентных машин. При использовании метода типовых кривых ветви нагрузок не должны включать в схему замещения, так как построение кривых зависит от значения суммы сопротивлений (сверхпереходного сопротивления генератора и сопротивление ветви К.З.) . Оценить расчёт режима К.З. при нескольких источниках питания может производиться по обобщённому методу путём замены нескольких источников питания одним эквивалентным. Выполнить индивидуальный учёт отдельных источников питания производится при резко отличающихся мощностях, удалённостях К.З., по типу генераторов (турбогенераторы и гидрогенераторы), наличии АРВ.

*Тема 5. Способы ограничения токов к.з. Выбор параметров токоограничивающих реакторов.* Рассмотреть мероприятия по ограничению токов КЗ. Выяснить, в каких случаях целесообразно использовать схемные решения, а когда – использовать токоограничивающие реакторы. Рассмотреть величины ограничиваемых токов КЗ в обоих случаях. Осуществить выбор параметров трансформаторов с расщепленной обмоткой, одинарных и сдвоенных реакторов с целью ограничения токов КЗ до приемлемых величин с точки зрения отключающей способности выключателей, термической и электродинамической стойкости.

*Тема 6. Граничные условия и векторные диаграммы при несимметричных к.з. Расчет токов несимметричных к.з. Сопоставление несимметричных и трехфазных к.з. Комплексные схемы замещения при поперечной несимметрии.* Рассмотреть применение метода симметричных составляющих для несимметричных трёхфазных систем токов и напряжений. Составить соответствующие комплексные схемы, из которых определяются токи некоторых эквивалентных трёхфазных К.З. согласно правилу эквивалентности тока прямой последовательности. Поэтому необходимо научиться рассчитывать

сопротивления и составлять схемы прямой, обратной и нулевой последовательностей, а также комплексные схемы для основных видов несимметричного К.З. Оценить влияние на реактивность нулевой последовательности трансформатора: а) соединения обмоток б) конструкции магнитопровода. Разобраться почему реактивное сопротивление воздушной линии для токов нулевой последовательности значительно больше, чем для токов прямой и обратной последовательностей. Рассмотреть как изменяются векторные диаграммы токов и напряжений при переходе со стороны звезды на сторону треугольника трансформатора, обмотки которого соединены по схеме  $Y/\Delta - II$

*Тема 7. Переходные процессы при продольной несимметрии. Комплексные схемы замещения при продольной несимметрии.* Следует хорошо усвоить правило эквивалентности прямой последовательности, согласно которому для расчёта переходного процесса при любом несимметричном коротком замыкании могут быть применены все практические методы и приёмы расчёта переходного процесса при трёхфазном коротком замыкании. Особое внимание уделить методу расчётных кривых. Составить комплексные схемы замещения для различных видов продольной несимметрии. Сравнить продольную несимметрию и установить аналогию с несимметричными короткими замыканиями.

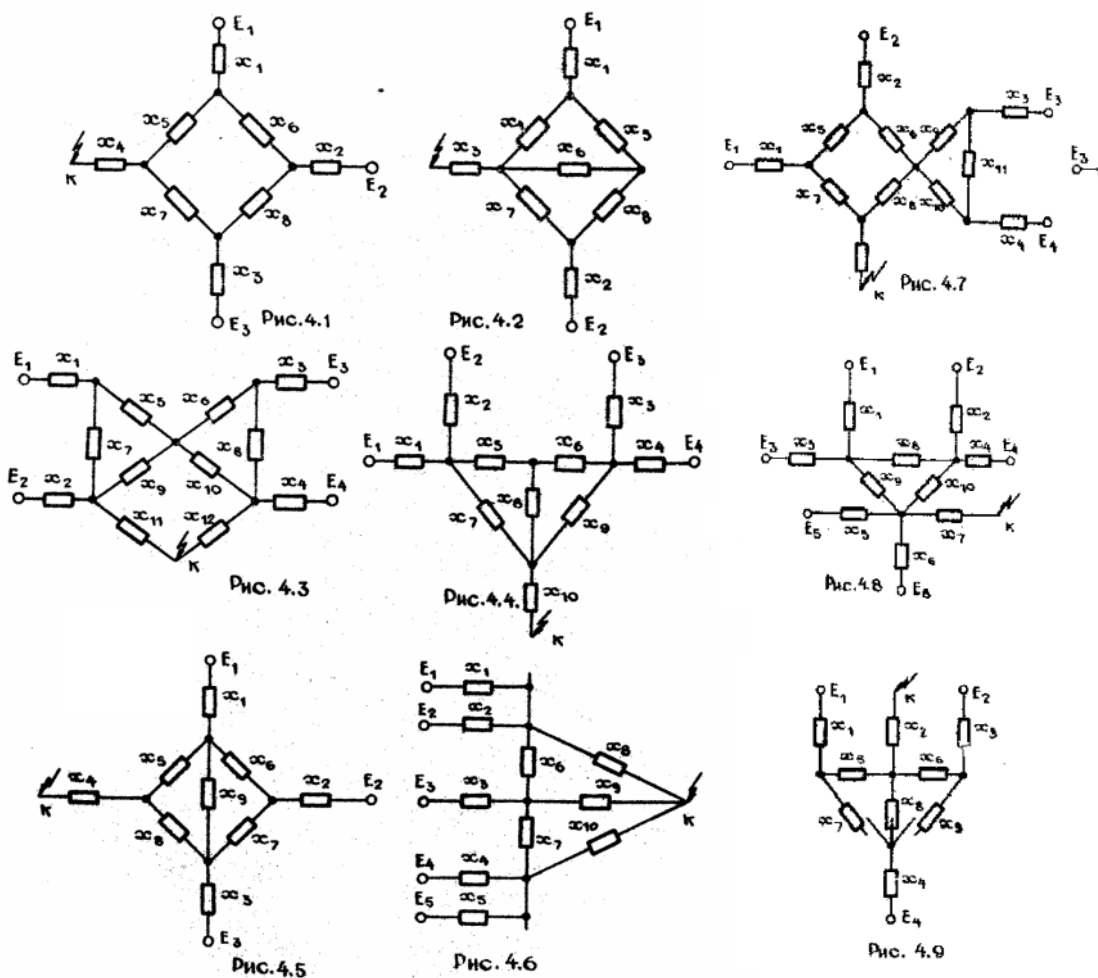
Следует помнить о том, что при изучении отдельных теоретических вопросов курса используются знания, полученные в ранее изученных дисциплинах.

Студент выполняет вариант, соответствующий последним двум цифрам его шифра.

Задания на самостоятельную работу подобраны таким образом, что полностью совпадают с тематикой практических занятий. В процессе самостоятельной работы студенты должны усовершенствовать полученные знания из курса лекций и закреплённые на практических занятиях.

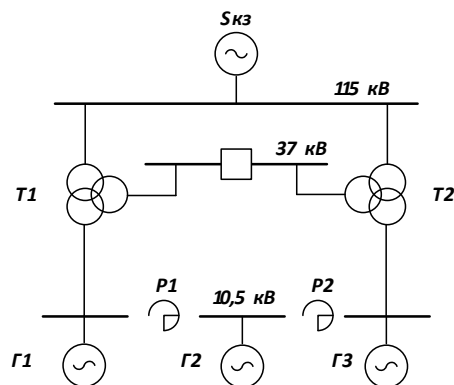
### 3. Задания на самостоятельную работу

**Задача 1.** Для схем приведенных на рис., указать наиболее целесообразные пути их преобразования относительно точки к.з. для двух случаев: а) сопротивления и э.д.с. схем замещения одинаковы; б) сопротивления и э.д.с. схем замещения различны.



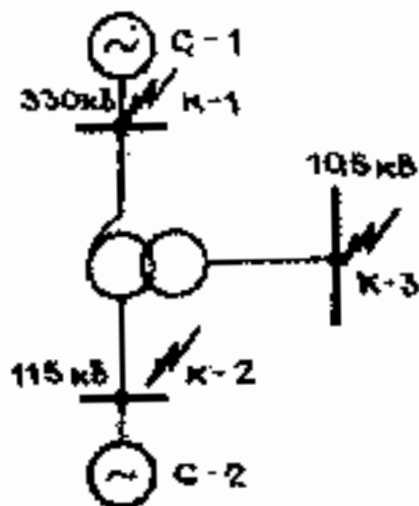
**Задача 2.** Для ограничения токов короткого замыкания при КЗ на стороне генераторного напряжения предполагается сборные шины 10,5 кВ разбить на 3 секции и смежные секции соединить через реакторы на номинальный ток 3000 А при номинальном напряжении 10 кВ. Получается при этом схема станции представленная на рис. Секционный выключатель на шинах 37 кВ нормально включен. Требуется определить, какой реактивности должны быть реакторы Р-1 и Р-2 (на указанные параметры они изготавливаются с реактивностью 8,10,12%), чтобы при трехфазном к.з. на любой из секций шин 10,5 кВ величины начальных сверхпереходных токов были практически одинаковы.





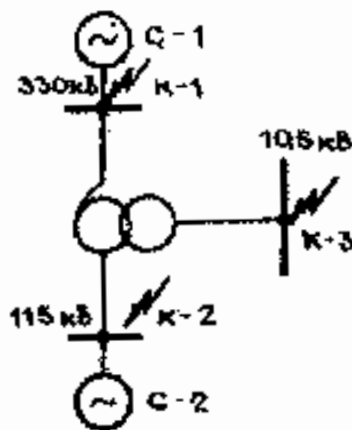
№ варианта	Трансформаторы				Система $S_{кз}, \text{MBA}$	Генераторы		
	$S_H, \text{MBA}$	$U_{BC}, \%$	$U_{BH}, \%$	$U_{CH}, \%$		$P, \text{MВт}$	$\text{Cos } \varphi$	$x''d, \text{о.е.}$
1	90	10	17	7	1100	40	0,8	0,13
2	70	11	16	5	1000	20	0,8	0,14
3	80	12	18	6	900	30	0,9	0,15
4	60	9	16	7	1200	30	0,9	0,16
5	100	8	15	7	1100	60	0,8	0,14
6	110	7	14	7	1300	65	0,85	0,15
7	120	10	17	7	900	70	0,9	0,13
8	90	1	16	5	800	45	0,75	0,19
9	80	12	15	6	700	35	0,8	0,20
10	70	9	18	8	1000	25	0,9	0,21

**Задача 3.** Автотрансформатор АТ схемы рис.4.11, имеющий параметры 120 МВА; 330/115/10,5 кВ;  $U_{BC} = 10\%$ ,  $U_{BH} = 23,4\%$ ,  $U_{CH} = 12\%$ , связывает две системы С-1 и С-2. При этом известно, что в начальный момент трехфазного короткого замыкания в точке К-1 мощность короткого замыкания  $S_H = 6800$  МВА, К-2 мощность короткого замыкания  $S_H = 3900$  МВА. Определить мощность короткого замыкания при трехфазном коротком в точке К-3 заданной схемы. Исходные данные для расчета приведены в таблице.



№ варианта	Трансформатор				Воздушные линии		Кабельная линия		
	$S_n$	$U_{BC}$	$U_{BH}$	$U_{CH}$	$l$	$X_{уд}$	$l$	$X_{уд}$	$\Gamma_{уд}$
	МВА	%			км	Ом/км	км	Ом/км	Ом/км
1	200	10	17	8	100	0,4	0,9	0,3	0,06
2	190	11	16	6	110	0,45	0,8	0,4	0,08
3	180	12	18	7	110	0,4	0,7	0,5	0,1
4	170	9	10	8	130	0,45	0,9	0,3	0,06
5	160	8	15	9	140	0,4	0,8	0,4	0,08
6	150	7	14	8	130	0,45	0,7	0,5	0,1
7	140	10	17	8	110	0,4	0,6	0,3	0,06
8	130	11	16	6	120	0,45	0,5	0,4	0,08
9	120	12	15	7	90	0,4	0,4	0,5	0,1
10	110	9	18	9	150	0,45	0,9	0,3	0,06

**Задача 4.** От шин трансформаторов, присоединенных к узлу системы С, отходят воздушные линии. Схема установки и параметры элементов приведены на рис.

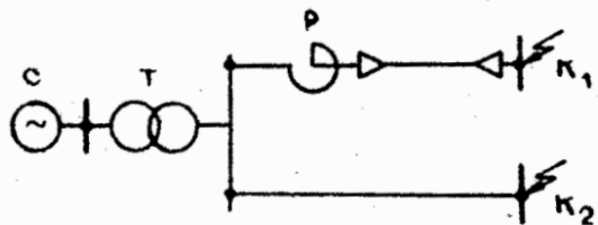


Требуется определить  $U_k, \%$  трансформатора Т-2 при условии, что при трехфазном коротком замыкании в конце каждой линии (точки  $K_1$  и  $K_2$ ) периодические слагающие токов будут одинаковы. Исходные данные для расчета приведены в табл.

№ варианта	Трансформаторы					Воздушные линии			
	Т1		Т		Т2	Л-1		Л-2	
	$S_n$	$U_k$	$S_n$	$U_k$	$S_n$	$l$	$X_{уд}$	$l$	$X_{уд}$
	МВА	%	МВА	%	МВА	км	Ом/км	км	Ом/км
1	10	10	60	8	30	1,0	0,3	0,9	0,4
2	20	11	70	9	40	1,5	-	1,5	-
3	30	12	80	10	50	1,2	-	3	-
4	15	13	90	11	70	1,3	-	1,5	-
5	25	14	100	12	65	1,8	-	1,6	-
6	35	15	120	11	90	1,1	-	1,4	-
7	15	10	110	8	80	1,2	-	1,8	-
8	20	12	90	9	60	1,4	-	1,7	-
9	30	12	80	13	40	1,6	-	1,2	-
10	40	13	70	12	20	1,2	-	1,1	-

**Задача 5.** От шин трансформатора, присоединенного к узлу системы С, отходят воздушная линия и кабельная линия. Схема установки и параметры элементов приведены на рис.

Требуется определить, какой реактивности должен быть выбран реактор Р, включаемый в цепь кабельной линии, чтобы при трехфазных коротких замыканиях в конце каждой линии (точки К1 и К2) периодические слагающие токов были одинаковы. Исходные данные для расчета приведены в табл.



№ варианта	Реактор		Кабельная линия			Воздушная линия	
	$U_n$ кВ	$I_n$ кА	$l$ км	$X_{уд}$ Ом/км	$\Gamma_{уд}$ Ом/км	$l$ км	$X_{уд}$ Ом/км
1	6,6	0,4	1	0,08	0,4	3	0,5
2	10	0,2	0,9	0,06	0,3	4	0,4
3	10,5	0,2	0,8	0,08	0,4	5	0,5
4	7	0,35	0,7	0,06	0,3	6	0,4
5	6,6	0,4	1,1	0,08	0,4	4	0,5
6	10	0,3	1,2	0,06	0,3	3	0,4
7	10,5	0,3	1,3	0,08	0,4	5	0,5
8	7	0,4	1,4	0,06	0,3	7	0,4
9	8	0,35	1,5	0,08	0,4	6	0,5
10	9	0,3	1,6	0,06	0,3	4	0,4

**Задача 6.** Известно, что при трехфазном коротком замыкании в некотором узле сети 115 кВ электрической системы начальная мощность короткого замыкания составляет 2000 МВА. К этому узлу предполагается присоединить понижающую подстанцию.

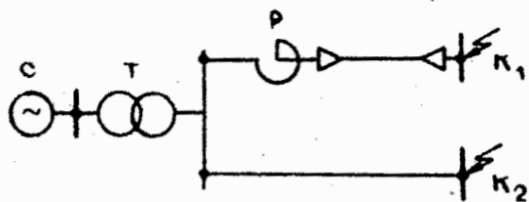
Требуется определить, какова может быть наибольшая номинальная мощность понижающего трансформатора этой подстанции ( $U_k=10,5$ ), чтобы при трехфазном коротком замыкании за ним начальная мощность короткого замыкания не превышала 350 МВА.

**Задача 7.** В цепи установлен реактор Р1, параметры которого приведены в табл. Этот реактор предполагается заменять другим, Р2, с большим на 50% номинальным током.

Определить какова должна быть реактивность этого реактора (в процентах) при номинальном напряжении 6,6 кВ и 10,5 кВ, чтобы после замены сопротивление цепи осталось прежним. Исходные данные для расчета приведены в табл.

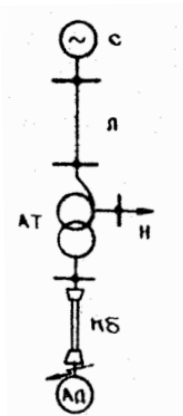
№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Реактор Р1	$U_n$ , кВ	6,6	6,7	7	2,6	8	6,6	6,9	7	7,1	6,9
	$I_n$ , кА	0,15	0,2	0,25	0,2	0,18	0,14	0,12	0,35	0,4	0,5
	$X_p$ , %	5	6	7	8	9	10	7	8	6	7

**Задача 8.** При трехфазном коротком замыкании в точке К (рис.) определить ударный ток к.з. и остаточное напряжение на шинах низшего напряжения подстанции. При этом учесть, что система – источник бесконечной мощности напряжением 230 кВ, напряжение короткого замыкания трансформатора:  $U_{BC} = 12,5\%$ ,  $U_{BH} = 23,5\%$ ,  $U_{CH} = 8,0\%$ . Потери активной мощности в трансформаторе даны на фазу. Расчет выполнен в именованных и относительных единицах. Исходные данные для расчета приведены в табл.



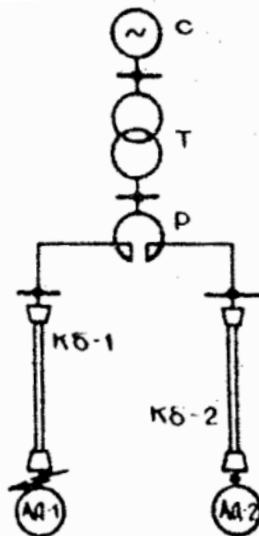
№ варианта	Трансформатор				Реактор				Кабель		Синхронный двигатель			Нагрузка $S_y$ МВА
	$S_n$	$U_{нв}$	$U_{нс}$	$U_{нн}$	$I_n$	$U_n$	$x$	$P_n$	$l$	$s$	$P_n$	$\cos \varphi$	$X''d$	
	МВА	кВ			А	кВ	%	кВт	м	А – мм <sup>2</sup>	МВт	Отн.един		
1	90	220	115	11	400	10	5	4,3	50	A-120	4,5	0,95	0,23	55
2	20	209	37	6,6	300	6	5	2,8	85	A-95	2,8	0,93	0,18	10
3	60	215	115	11	300	10	5	3,4	10	A-120	4,2	0,92	0,22	33
4	40	226	37	6,6	400	6	4	2,6	70	A-70	2,4	0,90	0,20	25
5	120	215	115	11	500	10	6	4,9	90	A-120	3,5	0,91	0,24	60
6	80	209	37	6,6	500	6	5	3,3	65	A-70	1,8	0,90	0,18	45
7	90	237	115	6,6	600	6	5	3,8	80	A-95	2,0	0,93	0,21	50
8	120	203	37	11	400	10	4	3,9	50	A-95	3,0	0,94	0,19	50
9	30	237	37	6,6	200	6	5	2,0	60	A-70	1,6	0,92	0,21	18

**Задача 9.** На зажимах асинхронного двигателя произошло трехфазное короткое замыкание. Определить ударный ток в месте к.з. и остаточное напряжение на шинах 6 кВ в начальный момент к.з. При расчетах учесть, что асинхронный двигатель работал с нагрузкой 70% и  $\cos \varphi = 0,8$ . Система – источник бесконечной мощности. Для линии  $\gamma_{уд} = 0,4$  Ом/км. Использовать средние параметры обобщенной нагрузки. Расчет выполнить точным и приближенным приведением в относительных единицах.



№ варианта	Автотрансформатор							Асинхронный двигатель				Нагрузка	Линия		Кабель	
	$S_H$	Номинальное напряжение обмоток			$U_{BC}$	$U_{BH}$	$U_{CH}$	$P_H$	$\cos \varphi$	$U_H$	$I_{пуск}$	$S_H$	Марка провода	l	Марка провода	l
	МВА	кВ			%			МВт	о.е.	кВ	о.е.	МВА	А-мм <sup>2</sup>	км	А-мм <sup>2</sup>	м
1	40	220	121	6,6	10	34	23	3,2	0,85	6	4,7	25	А-120	100	А-95	80
2	60	226	121	6,6	10	34	23	4,5	0,86	6	4,3	40	А-120	110	А-95	90
3	80	214	121	6,6	10	34	23	3,8	0,85	6	4,6	50	А-150	115	А-95	75
4	80	209	121	6,6	10	34	23	2,1	0,84	6	5,0	55	А-150	130	А-70	60
5	120	214	121	6,6	11	37	23	2,8	0,84	6	4,5	80	А-185	120	А-95	90
6	120	203	121	6,6	11	37	23	4,5	0,86	6	4,3	70	А-240	150	А-95	50
7	180	214	121	6,6	11	37	23	3,8	0,85	6	4,6	95	А-300	250	А-95	60
8	180	209	121	6,6	11	37	23	2,1	0,84	6	5,0	80	А-300	110	А-70	35

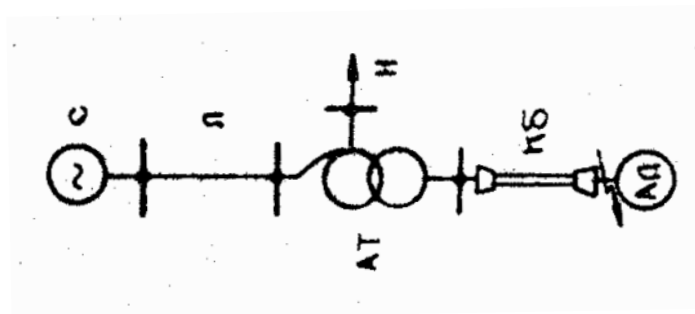
**Задача 10.** На выводах асинхронного двигателя АД-1 произошло трехфазное к.з. Определить величину ударного тока к.з. через 0,1 сек. В месте к.з., а также остаточное напряжение на шинах АД-2. При расчете учесть, что двигатель работает с номинальной нагрузкой. Система имеет мощность 200 МВА и  $x''_{d\Sigma} = 0,15$ . Потери короткого замыкания трансформатора принять равными 1% его полной мощности. Потери в реакторе даны на фазу, коэффициент связи равен 0,5. Параметры обеих кабельных линий одинаковы.



№ варианта	Трансформатор			Реактор				Кабель		Двигатель			
	$S_H$	$U_H$		$U_K$	$I_H$	$U_H$	$x$	$P_H$	l	s	$P_H$	$\cos \varphi$	$I_{пуск}$
	МВА	кВ		%	А	кВ	%	кВт	м	А-мм <sup>2</sup>	МВт	Отн.един	
30	15,0	110	6,6	10,5	600	6	6	8,6	100	А-95	2,0	0,83	5,1
31	10,0	107	6,6	10,5	600	6	4	6,3	75	А-70	1,5	0,82	4,8
32	31,5	113	11	10,5	600	10	4	8,0	90	А-95	2,8	0,74	4,5
33	20,0	105	6,6	11,0	1000	6	4	8,5	125	А-95	1,8	0,82	5,0
34	40,5	110	11	17,0	1000	10	6	16,0	80	А-95	3,2	0,85	4,7
35	60,0	113	11	17,0	1000	10	4	11,1	150	А-120	4,5	0,86	4,3
36	40,5	105	6,6	10,5	600	6	4	6,3	60	А-70	2,1	0,84	5,0
37	70,0	110	11	10,5	1000	10	6	16,0	100	А-120	3,8	0,85	4,6
38	60,0	105	6,6	10,5	600	6	6	8,6	50	А-70	1,6	0,82	5,2

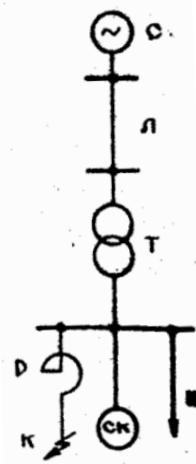
**Задача 11.** На зажимах асинхронного двигателя произошло трехфазное короткое замыкание.

Определить периодическую составляющую тока при пуске асинхронного двигателя и максимальное значение его пускового тока. При расчетах учесть, что асинхронный двигатель работал с нагрузкой 70% и  $\cos \varphi = 0,8$ . Система – источник бесконечной мощности. Для линии  $\gamma_{уд}=0,4$  Ом/км. Использовать средние параметры обобщенной нагрузки. Расчет выполнить точным и приближенным приведением в относительных единицах.



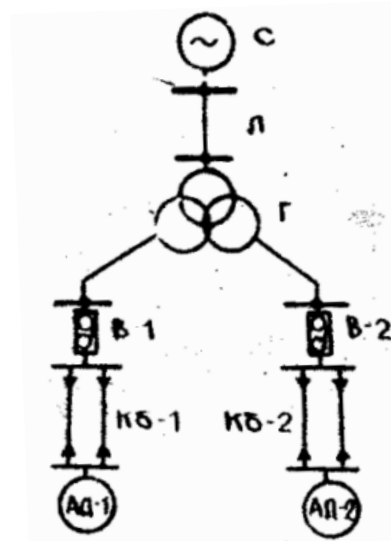
вариант	Автотрансформатор					Двигатель				Нагрузка	Линия		Кабель	
	$S_H$	$U_{НОМ}$ обмоток	$U_{вс}$	$U_{вн}$	$U_{сн}$	$P_H$	$\cos \varphi$	$U_H$	$I_{пуск}$	$S_H$	Марка провода	l	Марка провода	l
	МВА	кВ	%			МВт	о.е.	кВ	о.е.	МВА	А-мм <sup>2</sup>	км	А-мм <sup>2</sup>	м
1	40	220/121/6,6	10	34	23	3,2	0,85	6	4,7	25	А-120	100	А-95	80
2	60	226/121/6,6	10	34	23	4,5	0,86	6	4,3	40	А-120	110	А-95	90
3	80	214/121/6,6	10	34	23	3,8	0,85	6	4,6	50	А-150	115	А-95	75
4	80	209/121/6,6	10	34	23	2,1	0,84	6	5,0	55	А-150	130	А-70	60
5	120	214/121/6,6	11	37	23	2,8	0,84	6	4,5	80	А-185	120	А-95	90
6	120	203/121/6,6	11	37	23	4,5	0,86	6	4,3	70	А-240	150	А-95	50
7	180	214/121/6,6	11	37	23	3,8	0,85	6	4,6	95	А-300	250	А-95	60
8	180	209/121/6,6	11	37	23	2,1	0,84	6	5,0	80	А-300	110	А-70	35

**Задача 12.** При трехфазном коротком замыкании в точке К (рис.4.17) определить наибольшее значение периодической составляющей тока и остаточное напряжение на шинах подстанции. При расчете принять, что система – источник бесконечной мощности. Потери активной мощности в реакторе даны на одну фазу. Нагрузку рассмотреть как обобщенную. Напряжение короткого замыкания трансформатора  $U_K = 10\%$ .



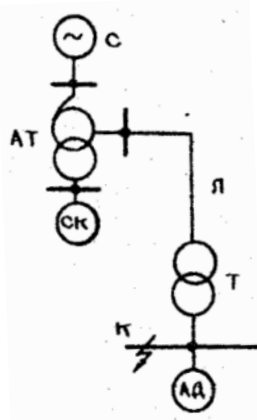
вариант	Трансформатор		Синхронный компенсатор				Нагрузка	Реактор				Линия	
	$S_n$	Номинальное напряжение	$S_n$	$U_n$	$x''_d$	$S_{нагр}$	$S_n$	$I_n$	$U_n$	$x$	$P_n$	$S$	$l$
	МВА	кВ	МВА	кВ	о.е.	МВАр	МВА	А	кВ	%	кВт	АС-мм <sup>2</sup>	км
1	40	105 6,6	5,0	6,3	0,16	4,5	30	400	6	4	2,6	АС-95	100
2	40	107 11,0	15,0	10,5	0,15	12,0	35	300	10	4	3,2	АС-95	70
3	60	113 6,6	10,0	6,6	0,20	8,0	50	500	6	5	3,8	АС-120	50
4	60	110 1,0	15,0	10,5	0,18	10,0	45	400	10	4	3,9	АС-120	75
5	90	107 6,6	15,0	6,6	0,15	15,0	75	500	6	5	3,8	АС-185	60
6	90	110 11,0	30,0	10,5	0,27	25,0	70	400	10	5	4,3	АС-185	40

**Задача 13.** Определить периодическую слагающую тока при одновременном пуске двух двигателей (рис.) и максимальное мгновенное значение тока на высокой стороне трансформатора в этих условиях. Найти напряжение на зажимах двигателей в этих условиях и выбрать реактор для сети 6 кВ, обеспечивающей снижение тока трансформатора в рассматриваемых условиях на 25%. При расчете принять, что система имеет мощность 300 МВА и  $x''_{d\Sigma}=0,32$ . Сопротивление шины 0,4 Ом/км.



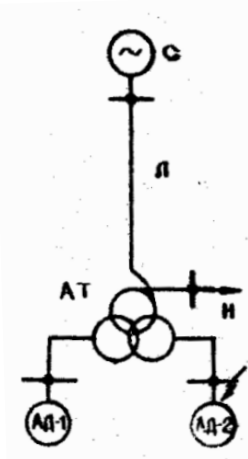
вариант	Трансформатор		Асинхронный двигатель				Кабель		Линия		Сис-тема	
	$S_n$	Номинальное напряжение	$U_k$	$P_n$	$\cos\varphi$	$U_n$	$I_{пуск}$	$A-n*s$	$l_{но}$	Марка провода	$l$	$U_c$
	МВА	кВ	%	кВт	д.е.	кВ	о.е.	А-мм <sup>2</sup>	м	АС-120	км	кВ
1	10	113 6.6	10.5	4*200	0.85	6.0	5.0	A-2*150	100	АС-120	100	106
2	15	110 6.6	10.5	4*200	0.85	6.0	5.1	A-2*150	80	АС-120	60	110
3	20	107 6.6	10.5	5*000	0.84	6.0	4.8	A-2*150	65	АС-120	70	105
4	30	220 6.6	12.0	5*500	0.86	6.0	5.0	A-2*150	50	АС-120	150	210
5	40	226 6.6	12.0	5*500	0.86	6.0	5.0	A-2*150	70	АС-120	110	215
6	60	214 6.6	12.0	7*500	0.85	6.0	4.6	A-2*185	50	АС-150	140	205
7	90	205 6.6	12.0	8*700	0.87	6.0	4.5	A-3*150	60	АС-150	120	207

**Задача 14.** Определить максимальное значение тока трехфазного короткого замыкания в точке К (рис.) и остаточное напряжение на зажимах СК. При расчете принять: система – источник бесконечной мощности; для автотрансформатора  $U_{вс}=8\%$ ,  $U_{вн}=28\%$ ,  $U_{сн}=18\%$ ; для трансформатора  $U_{к}=10\%$ . Считать, что для шин кВ  $x_{уд}=0,4$  Ом/км.



№ варианта	Автотрансформатор				Синхронный компенсатор			Трансформатор		Асинхронный двигатель				Линия	
	$S_n$	Номинальное напряжение			$S_n$	$U_n$	$x''^d$	$S_n$	Номинал. напряжение	$P_n$	$\cos\phi$	$U_n$	$I_{пуск}$		$I$
	МВА	кВ			МВА	кВ	о.е	МВА	кВ	МВт	д.е	кВ	о.е		кА
1	30	220	121	11	15	10,5	0,18	15	110 6,6	3,5	0,85	6	5,5	100	
2	30	226	121	11	15	10,5	0,18	20	113 6,6	4,2	0,84	6	5,0	85	
3	60	214	121	11	30	10,5	0,27	30	107 6,6	5,5	0,86	6	5,0	110	
4	60	226	121	11	30	10,5	0,27	20	113 6,6	3,8	0,84	6	5,4	70	
5	90	220	121	11	30	10,5	0,27	30	110 6,6	4,5	0,86	6	6,0	125	
6	90	205	121	11	75	10,5	0,19	20	107 3,3	3,0	0,82	3	5,8	130	
7	120	220	121	11	75	10,5	0,19	60	110 6,6	7,5	0,85	6	4,6	65	

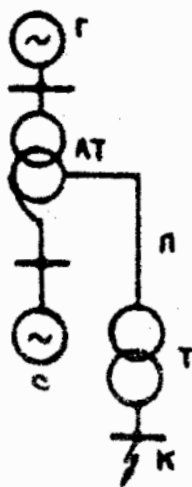
**Задача 15.** При трехфазном коротком замыкании в точке К (рис.) определить величину ударного тока к.з. и остаточное напряжение на нагрузке для рассматриваемых условий. При расчетах принять, что система – источник бесконечной мощности; удельное сопротивление линии – 0,4 Ом/км; нагрузку на шинах 110 кВ рассматривать как обобщенную.





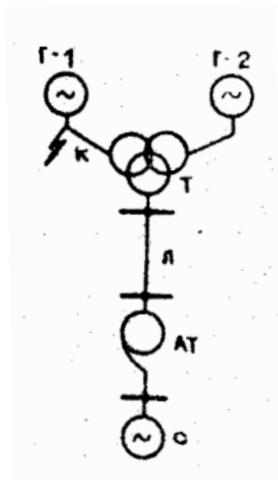
№ варианта	Автотрансформатор						Асинхронный двигатель				Нагрузка	Линия	
	$S_H$	Номинальное напряжение			$U_{bc}$	$U_{bn}$	$U_{cn}$	$P_H$	$\cos\phi$	$U_H$	$I_{пуск}$	$S_H$	$l$
	МВА	кВ			%	%	%	МВт	д.е	кВ	о.е	МВА	км
1	90	154	121	6,6	4	42	38	7,5	0,85	6	4,6	60	170
2	90	220	121	6,6	10	34	23	5,8	0,86	6	5,0	50	200
3	120	226	121	6,6	11	37	23	6,0	0,85	6	4,9	85	160
4	120	205	121	6,6	11	37	23	4,5	0,86	6	6,0	70	180
5	60	214	121	6,6	11	37	23	3,5	0,85	6	5,5	35	210
6	180	220	121	6,6	13	12	18	7,5	0,85	6	4,6	100	130
7	180	205	121	6,6	13	12	18	6,0	0,85	6	4,9	90	175

**Задача 16.** При поочередном трехфазном и двухфазном к.з. в точке К схемы (рис.) построить кривые изменения во времени токов к.з. в месте к.з. При расчетах учесть, что напряжения короткого замыкания автотрансформатора равны  $U_{bc}=11\%$ ,  $U_{bn}=37\%$ ,  $U_{cn}=23\%$ ; для трансформатора Т  $U_k=10,5\%$ . Для линии принять  $x_{уд}=0,4$  Ом/км.



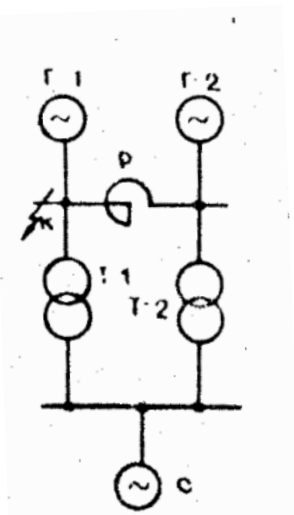
вариант	Генератор		Автотрансформатор			Трансформатор		Линия	Система
	$S_H$	$U_H$	$x''_d$	Номинальное напряжение		$S_H$	Номинальное напряжение	$l$	$x_c$
	МВА	кВ	о.е	$S_H$ , МВА	кВ	МВА	кВ	км	Ом
1	235.0	15.75	0.19	240	230/115/15.75	90	115 10.5	30	26.0
2	111.0	13.80	0.22	120	230/115/13.80	60	115 10.5	45	35.0
3	166.5	18.00	0.12	180	230/115/18.00	75	115 6.3	40	22.0
4	117.5	10.50	0.18	120	230/115/10.50	40	115 6.3	50	40.5
5	71.5	13.80	0.21	80	230/115/13.80	40	115 10.5	65	37.0
6	353.0	20.00	0.20	360	230/115/20.00	20	115 10.5	60	15.0
7	264.7	15.75	0.24	300	230/115/15.75	90	115 6.3	40	18.5
8	176.5	18.00	0.21	180	230/115/18.00	80	115 6.3	55	13.2
9	587.5	20.00	0.23	600	500/230/20.00	180	230 10.5	100	2.8

**Задача 17.** При трехфазном коротком замыкании в точке К определить наибольшее значение периодической составляющей тока и остаточное напряжение на шинах подстанции. При расчете принять, что система – источник бесконечной мощности. Напряжение короткого замыкания трансформатора  $U_k = 10\%$ .



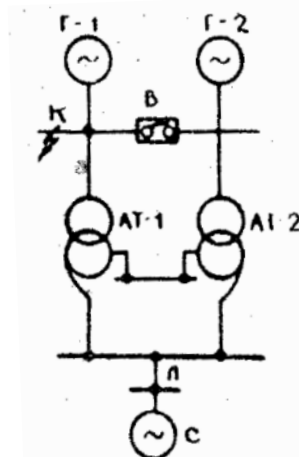
№ варианта	Генераторы Г-1, Г-2			Трансформатор			Автотрансформатор		Линия
	$S_H$	$U_H$	$x''d$	$S_H$	Ном. напряжение		$S_H$	Ном. напряжение	l
	МВА	кВ	о.е	МВА	кВ		МВА	кВ	км
1	117,5	13,8	0,18	240	230	13,8	500	230	110
2	166,3	18,0	0,12	360	230	18,0	500	230	85
3	71,3	13,8	0,21	120	230	13,8	500	230	175
4	111,0	13,8	0,22	180	230	13,8	500	230	130
5	66,0	10,5	0,21	120	230	10,5	500	230	150
6	123,5	13,8	0,14	240	230	13,8	500	230	80
7	85,5	15,75	0,23	180	230	15,75	500	230	125
8	176,5	18,0	0,21	360	230	18,0	500	230	100
9	75,0	6,3	0,22	120	230	6,3	500	230	160

**Задача 18.** При двухфазном коротком замыкании в точке К (рис.) построить кривые изменения во времени токов к.з.



№ варианта	Генераторы Г-1, Г-2			Трансформаторы Т-1, Т-2			Реактор			Система
	$S_H$	$U_H$	$x''d$	$S_H$	Ном. Напряжение	$U_K$	$I_H$	$U_H$	$X$	$X_0$
	МВА	кВ	о.е	МВА	кВ	%	А	кВ	%	Ом
1	62,5	10,5	0,14	60,0	230 10,5	14	3000	10	12	24,0
2	75,0	10,5	0,13	60,0	230 10,5	13	3000	10	10	18,5
3	37,5	6,3	0,15	40,0	115 6,3	10,5	2500	6	12	8,2
4	66,0	10,5	0,21	60,0	115 10,5	10,5	3000	10	12	5,8
5	31,3	6,3	0,13	30,0	115 6,3	10,5	2000	6	8	6,7
6	20,0	6,3	0,22	30,0	115 6,3	10,5	1500	10	8	4,6
7	50,0	10,5	0,20	40,0	230 10,5	13	2000	10	10	15,0
8	71,5	10,5	0,21	60,0	230 10,5	14	4000	10	12	13,1
9	37,5	6,3	0,14	60,0	115 6,3	10,5	3000	10	8	7,3

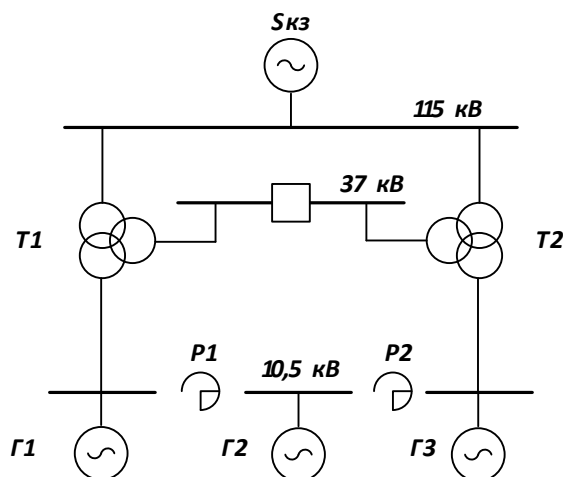
**Задача 19.** При двухфазном коротком замыкании на землю в точке К построить кривые изменения во времени токов к.з.



№ варианта	Генераторы Г-1, Г-2			Автотрансформаторы АТ-1,2							Линия
	$S_H$	$U_H$	$x''d$	$S_H$	Ном. напряжение обмоток			$U_{BC}$	$U_{BH}$	$U_{CH}$	$l$
	МВА	кВ	о.е	МВА	кВ	кВ	%	%	%	км	
1	62,5	6,3	0,14	40	230	115	6,3	10,0	34,0	24,0	100
2	66,0	6,3	0,21	60	230	115	6,3	10,0	34,0	24,0	85
3	71,5	10,5	0,22	80	230	115	10,5	10,0	34,0	24,0	110
4	117,5	10,5	0,17	80	230	115	10,5	10,0	34,0	24,0	75
5	123,5	13,8	0,16	120	230	115	13,8	12,0	37,0	25,0	60
6	111,0	13,8	0,22	90	230	115	13,8	10,0	34,0	24,0	90
7	176,5	18,0	0,21	120	230	115	18,0	12,0	37,0	25,0	50
8	166,5	18,0	0,13	180	230	115	18,0	13,0	12,0	18,0	65
9	235,0	18,0	0,19	240	230	115	18,0	13,0	12,0	18,0	50

**Задача 20.** Для схемы и данных ее элементов, приведенных в табл. составить схемы замещения нулевой последовательности при однофазном к.з. на зажимах генератора Г-1. Определить величину тока к.з. в заданных условиях для разных моментов времени. При расчетах считать, что генераторы и система имеют глухозаземленную нейтраль. Схема соединения обмоток Г-1 и Г-2 - звезда с нулем. Схема соединения обмоток трансформаторов Y0-Y0-Y0.

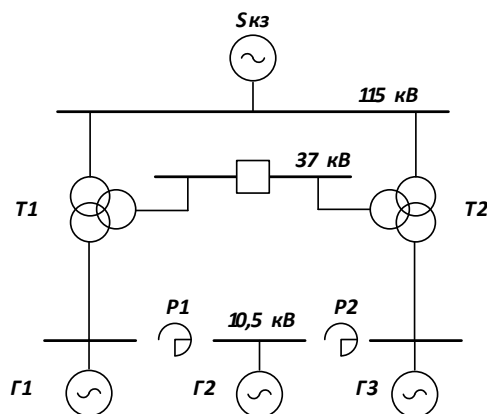
Реакторы P-1 и P-2 одинаковые и имеют следующие параметры:  $U_H = 10,5 \text{ кВ}$ ,  $I_H = 2000 \text{ А}$ ,  $x_p = 6\%$ ; сопротивление нулевой последовательности генератора  $X_0 = 4,5X_d$ .



№ варианта	Трансформаторы				Система	Генераторы		
	$S_H$	$U_{BC}$	$U_{BH}$	$U_{CH}$	$S_{кз}$	P	$\cos \varphi$	$x''_d$
	МВА	%			МВА	МВт	О.е.	
1	90	10	17	7	1100	40	0,8	0,13
2	70	11	16	5	1000	20	0,8	0,14
3	80	12	18	6	900	30	0,9	0,15
4	60	9	16	7	1200	30	0,9	0,16
5	100	8	15	7	1100	60	0,8	0,14
6	110	7	14	7	1300	65	0,85	0,15
7	120	10	17	7	900	70	0,9	0,13
8	90	1	16	5	800	45	0,75	0,19
9	80	12	15	6	700	35	0,8	0,20
10	70	9	18	8	1000	25	0,9	0,21

**Задача 21.** Для схемы и данных ее элементов, приведенных в табл. составить схемы замещения нулевой последовательности при однофазном к.з. на зажимах генератора Г-1. Определить величину тока к.з. в заданных условиях для разных моментов времени. При расчетах считать, что генераторы и система имеют глухозаземленную нейтраль. Схема соединения обмоток Г-1 и Г-2 - звезда с нулем. Схема соединения обмоток трансформаторов Д0-Y0-Y0.

Реакторы P-1 и P-2 одинаковые и имеют следующие параметры:  $U_H = 10,5 \text{ кВ}$ ,  $I_H = 2000 \text{ А}$ ,  $x_p = 6\%$ ; сопротивление нулевой последовательности генератора  $X_0 = 4,5X_d$ .



№ варианта	Трансформаторы				Система	Генераторы		
	$S_H$	$U_{BC}$	$U_{BH}$	$U_{CH}$	$S_{K3}$	$P$	$\cos \varphi$	$x''d$
	МВА	%			МВА	МВт	О.е.	
1	90	10	17	7	1100	40	0,8	0,13
2	70	11	16	5	1000	20	0,8	0,14
3	80	12	18	6	900	30	0,9	0,15
4	60	9	16	7	1200	30	0,9	0,16
5	100	8	15	7	1100	60	0,8	0,14
6	110	7	14	7	1300	65	0,85	0,15
7	120	10	17	7	900	70	0,9	0,13
8	90	1	16	5	800	45	0,75	0,19
9	80	12	15	6	700	35	0,8	0,20
10	70	9	18	8	1000	25	0,9	0,21

**Задача 22.** Для схемы и ее данных, приведенных в табл. определить величину периодической составляющей тока однофазного к.з. при к.з. поочередно в точках К1, К2, К3 при условии, что системы С1 и С2 имеют заземленную нейтраль и их сопротивления нулевой последовательности  $x_{0\Sigma} = 6x''$  для схемы соединения обмоток трансформатора  $Y_0 / Y_0$  и  $Y_0 / \Delta$

Автотрансформатор АТ схемы имеющий параметры 120 МВА; 330/115/10,5 кВ;  $U_{BC} = 10\%$ ,  $U_{BH} = 23,4\%$ ,  $U_{CH} = 12\%$ , связывает две системы С-1 и С-2. При этом известно, что в начальный момент трехфазного короткого замыкания в точке К1 мощность короткого замыкания  $S_H = 6800$  МВА, К2 мощность короткого замыкания  $S_H = 3900$  МВА.

№ варианта	Трансформатор				Воздушные линии		Кабельная линия		
	$S_H$	$U_{BC}$	$U_{BH}$	$U_{CH}$	$l$	$x_{уд}$	$l$	$x_{уд}$	$\Gamma_{уд}$
	МВА	%			км	Ом/км	км	Ом/км	Ом/км
1	200	10	17	8	100	0,4	0,9	0,3	0,06
2	190	11	16	6	110	0,45	0,8	0,4	0,08
3	180	12	18	7	110	0,4	0,7	0,5	0,1
4	170	9	10	8	130	0,45	0,9	0,3	0,06
5	160	8	15	9	140	0,4	0,8	0,4	0,08
6	150	7	14	8	130	0,45	0,7	0,5	0,1
7	140	10	17	8	110	0,4	0,6	0,3	0,06
8	130	11	16	6	120	0,45	0,5	0,4	0,08
9	120	12	15	7	90	0,4	0,4	0,5	0,1
10	110	9	18	9	150	0,45	0,9	0,3	0,06

**Задача 23.** Для схемы рис. и ее данных, приведенных в табл. сопоставить величины ударных токов к.з. При к.з. в точке К1 при поочередных трехфазных, двухфазных и однофазных к.з. При расчетах принять, что система имеет бесконечную мощность, заземленную нейтраль, а схема соединения обмоток трансформаторов Т-1 и Т-2

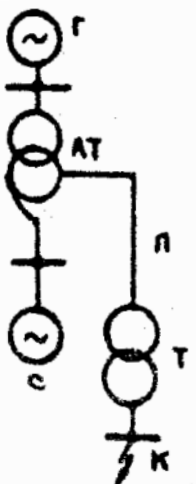
От шин трансформаторов, присоединенных к узлу системы С, отходят воздушные линии. Схема установки и параметры элементом приведены на рис.

№ варианта	Трансформаторы					Воздушные линии			
	Т1		Т		Т2	Л-1		Л-2	
	$S_n$	$U_k$	$S_n$	$U_k$	$S_n$	l	$x_{уд}$	l	$x_{уд}$
	МВА	%	МВА	%	МВА	км	Ом/км	Км	Ом/км
1	10	10	60	8	30	1,0	0,3	0,9	0,4
2	20	11	70	9	40	1,5	-	1,5	-
3	30	12	80	10	50	1,2	-	3	-
4	15	13	90	11	70	1,3	-	1,5	-
5	25	14	100	12	65	1,8	-	1,6	-
6	35	15	120	11	90	1,1	-	1,4	-
7	15	10	110	8	80	1,2	-	1,8	-
8	20	12	90	9	60	1,4	-	1,7	-
9	30	12	80	13	40	1,6	-	1,2	-
10	40	13	70	12	20	1,2	-	1,1	-

**Задача 24.** Для схемы рис. и ее данных, приведенных в табл. сопоставить величины ударных токов к.з. При к.з. в точке К1 при поочередных трехфазных, двухфазных и однофазных к.з. При расчетах принять, что система имеет бесконечную мощность, заземленную нейтраль, а схема соединения обмоток трансформаторов Т-1 и Т-2 Y0/Y0.

Сопротивление нулевой последовательности генератора  $X_0 = 5X_d$  “.

При расчетах учесть, что напряжения короткого замыкания автотрансформатора равны  $U_{вс}=11\%$ ,  $U_{вн}=37\%$ ,  $U_{сн}=23\%$ ; для трансформатора Т  $U_k=10,5\%$ . Для линии принять  $x_{уд}=0,4$  Ом/км.



№ варианта	Генератор		Автотрансформатор			Трансформатор		Ли ния	Система
	S <sub>н</sub>	U <sub>н</sub>	x''d	Номинальное напряжение		S <sub>н</sub>	Номинальное напряжение	l	x <sub>с</sub>
	МВА	кВ	о.е	S <sub>н, МВА</sub>	кВ	МВА	кВ	км	Ом
1	235.0	15.75	0.19	240	230 115 15.75	90	115 10.5	30	26.0
2	111.0	13.80	0.22	120	230 115 13.80	60	115 10.5	45	35.0
3	166.5	18.00	0.12	180	230 115 18.00	75	115 6.3	40	22.0
4	117.5	10.50	0.18	120	230 115 10.50	40	115 6.3	50	40.5
5	71.5	13.80	0.21	80	230 115 13.80	40	115 10.5	65	37.0
6	353.0	20.00	0.20	360	230 115 20.00	20	115 10.5	60	15.0
7	264.7	15.75	0.24	300	230 115 15.75	90	115 6.3	40	18.5
8	176.5	18.00	0.21	180	230 115 18.00	80	115 6.3	55	13.2
9	587.5	20.00	0.23	600	500 230 20.00	180	230 10.5	100	2.8

#### **4. Фонд тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний**

Фонд тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний по дисциплине входит составной частью в фонд тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний по профилю – Электроснабжение, утвержденный УМО по образованию в области энергетики и электротехники.

Контрольные экзаменационные задания (КЭЗ) представлены либо как единая ситуационная задача, требующая построения алгоритма решения в виде последовательно описываемых этапов, каждый из которых характеризует технологическую или (и) конструктивную проблему, либо состоят из отдельных вопросов, составленных таким образом, чтобы выбор охватываемых ими проблем обеспечивал проверку умений по тем базовым и специальным дисциплинам, которые формируют профессиональный уровень выпускника (т.е. несут в себе информацию, непосредственно связанную с обобщенными задачами профессиональной деятельности будущих специалистов).

Ответы на вопросы контрольных заданий обязательно требуют от экзаменуемых использования знаний и умений по дисциплине. Вопросы КЭЗ не имеют рецептурно-справочный характер. Во всех случаях в КЭЗ нет вопросов, не соответствующих хотя бы одному из требований к знаниям и умениям студентов.

Все КЭЗ индивидуальны и повторяющихся вопросов нет. При этом вопросы составлены так, чтобы трудоемкость требуемых конкретных ответов всех КЭЗ была приблизительно одинакова. Вопросы имеют как качественный, так и количественный характера (в виде задач).

Задачи для решения четко сформулированы, имеют совершенно определенную физическую и инженерную основу. Они имеют однозначный ответ, получение которого не требует громоздких вычислений.

В тексте задач нет сведений справочного характера и подсказок о теоретических принципах решения, поскольку именно они должны быть самостоятельно найдены экзаменуемым.



**Результаты ответа на контрольное задание определяются дифференцированно (по 4-х балльной системе): оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», которые объявляются в тот же день.**

Оценка «отлично» выставляется студенту при условии решения всех заданий с использованием современных методов расчета, нормативных и организационных документов, проявившему инженерный и творческий подход к поставленным задачам и обоснованность принятых решений.

Оценка «хорошо» выставляется студенту при условии решения 80% заданий с использованием современных методов расчета, нормативных и организационных документов, использовавшему стандартные и типовые инженерные решения и обосновавшему принятые решения с технико-экономической точки зрения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту при условии решения не менее 50% заданий с использованием современных методов расчета, нормативных и организационных документов, использовавшему стандартные и типовые инженерные решения.

В случае несоблюдения вышеуказанных критериев студенту выставляется оценка «неудовлетворительно».

Критерии оценки должны быть единообразны по всем вопросам контрольных заданий, а их основополагающим принципом при ответе на качественный вопрос должно быть четкое соответствие анализа физической и инженерной картины рассматриваемого процесса или устройства (а, также, при необходимости, их математического описания) требованиям ГОС в рамках регламентированных видов профессиональной деятельности.

При ответе на количественный вопрос (задачу) ответ считается полноценным, если получено не только правильное численное значение искомого параметра, но и приведено решение с обоснованием выбора расчетных зависимостей (форму) и правомочности их применения, а также

даны ссылки на необходимые сведения, заимствованные из справочников и других источников.

Ответы на вопросы качественного характера не должны сводиться к простому пересказу той, или иной главы учебника. Конкретный ответ на такой вопрос должен требовать от экзаменуемого некоторого анализа и синтеза известных ему положений, вытекающих из изучения базовых и специальных дисциплин.

В качестве примера подробно приведены вопросы для самопроверки и варианты различных типов тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний по дисциплине «Электромагнитные переходные процессы», остальные находятся в фонде профиля – Электроснабжение, находящемся в учебно-методическом кабинете кафедры энергетики.

### ***Примеры контрольных экзаменационных заданий***

Каждое задание содержит комплекс вопросов, позволяющих оценить подготовку студента по данной дисциплине в соответствии с требованиями оценочных и диагностических средств по профилю – Электроснабжение.

При этом задания могут быть теоретического и расчетного плана, а также иметь комплексный характер.

Ниже приведены варианты различных типов тестовых и контрольных заданий.

### **Аннотация**

к тестам по контролю остаточных знаний по дисциплине

"Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах"

Тесты предназначены для контроля остаточных знаний по дисциплине "Переходные процессы в электроэнергетических системах", являющейся базовой и читаемой студентам направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника».

Представлено 6 вариантов тестовых заданий. Каждый вариант включает 20 заданий.

При разработке тестов использовались следующие формы:

- а) открытого типа "Дополнить";
- б) закрытая с одним правильным ответом;
- в) на установление правильной последовательности;
- г) задание с несколькими правильными ответами типа: "Подчеркнуть относящиеся к...".

Время, отводимое на выполнение всех заданий, составляет два часа аудиторных занятий или 1 час 20 мин астрономического времени тестирования.

При оценке результатов студентов оценка:

"отлично" соответствует более 15 правильных ответов;

"хорошо" - более 10 до 15 включительно правильных ответов;

"удовлетворительно" - 10 правильных ответов;

"неудовлетворительно" - менее 10 правильных ответов.

## 5. Тестовые задания

### Вариант № 1

1. Одной из причин возникновения электромагнитных переходных процессов в ЭЭС является ...
  - а) регулирование напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой;
  - б) возникновение местной несимметрии;
  - в) проведение оперативных переключений персоналом энергопредприятий;
  - г) резкое увеличение электрической нагрузки энергосистемы.
2. Наиболее распространенным видом КЗ в энергосистемах при глухозаземленной нейтрали является ...
  - а) трехфазное;
  - б) двухфазное;
  - в) двухфазное на землю;
  - г) однофазное.
3. Одной из целей расчета электромагнитных переходных процессов является ...
  - а) выбор и проверка электрических аппаратов и проводников;
  - б) выбор мощности силовых трансформаторов;
  - в) выбор количества проводов в расщепленной фазе;
  - г) определение допустимого расстояния между фазным проводом ЛЭП и землей.
4. Дополнить средний ряд напряжений 515; ...; 230; 115; ...; ...; 20; 18; ...; ...; 6,3; 3,15 кВ
  - а) 340; 37; 24; 15,75; 13,8
  - б) 330; 35; 27; 15; 13
  - в) 330; 37,5; 24; 15,75; 13,8
  - г) 340; 37,5; 24; 15,75; 13
5. Для синхронной машины при чисто индуктивной цепи статора поперечная составляющая начального значения периодической слагающей тока

возникшего переходного процесса или так называемого начального сверхпереходного тока определяется ...

$$а) I''_{q|0} = \frac{E''_{d|0}}{x''_{q|0} + x_{вн}}; б) I''_{q|0} = \frac{E''_{q|0}}{x''_{q|0} + x_{вн}}; в) I''_{d|0} = \frac{E''_{q|0}}{x''_{d|0} + x_{вн}}; г) I''_{q|0} = \frac{E''_{q|0}}{x''_{q|0}}.$$

6. ДОПОЛНИТЬ:

Основные допущения, применяемые при расчете электромагнитных переходных процессов, – это

---

7. ДОПОЛНИТЬ:

Начальное действующее значение периодической составляющей тока в месте КЗ определяется по выражению \_\_\_\_\_

8. ДОПОЛНИТЬ:

Ударный коэффициент при трехфазном КЗ определяется по выражению ... и зависит от ...

---

9. ДОПОЛНИТЬ:

Мощность КЗ определяется по выражению ...

---

10. ДОПОЛНИТЬ:

Короткое замыкание - это

... \_\_\_\_\_

11. Для случая однофазного КЗ выбрать дополнительное сопротивление  $\Delta x^{(n)}$

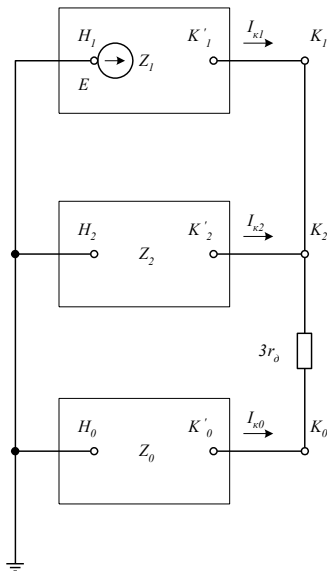
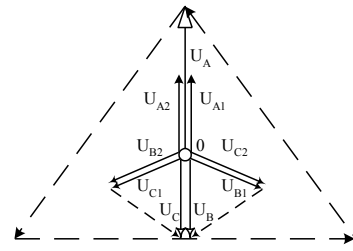
$$а) \Delta x^{(n)} = x_{2\Sigma}; \quad б) \Delta x^{(n)} = x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}; \quad в) \Delta x^{(n)} = \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}.$$

и значение коэффициента  $m^{(n)}$  а)  $m^{(n)} = \sqrt{3}$ ; б)  $m^{(n)} = 3$ ;

$$в) m^{(n)} = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}.$$

12. Данная векторная диаграмма напряжений в месте короткого замыкания соответствует

- а) однофазному КЗ;
- б) двухфазному КЗ;
- в) двухфазному КЗ на землю.



13. Приведенная комплексная схема замещения соответствует случаю ...

- а) двухфазного замыкания на землю через дугу;
- б) двухфазного замыкания через дугу;
- в) однофазного замыкания через дугу;
- г) при наличии сопротивления в одной фазе;
- д) при наличии одинаковых сопротивлений в двух фазах.

14. Началом схемы нулевой последовательности считается точка, в которой ...

- а) объединены свободные концы всех генерирующих и нагрузочных ветвей;
- б) возникла рассматриваемая несимметрия;
- в) объединены ветви с нулевым потенциалом.

15. Сопротивление, через которое заземлена нейтраль трансформатора, генератора, двигателя, нагрузки, в схему нулевой последовательности ...

- а) не вводится;
- б) вводится своей величиной;
- в) должно быть введено утроенной величиной.

16. Схема обратной последовательности является ...

а) обычной схемой, которую составляют для расчета любого симметричного трехфазного режима или процесса, генераторы и нагрузки введены в нее соответствующими реактивностями и ЭДС, а остальные элементы - неизменными сопротивлениями;

б) обычной схемой, которую составляют для расчета любого симметричного трехфазного режима или процесса, генераторы и нагрузки введены в нее соответствующими реактивностями и ЭДС, равными нулю, а остальные элементы - неизменными сопротивлениями;

в) схемой, которая в значительной мере определяется соединением обмоток участвующих трансформаторов и прочих элементов.

17. Представленная ниже последовательность расчета периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени

Составление схемы замещения, в которую источники вводятся своими сверхпереходными ЭДС и сопротивлениями;

Преобразование схемы замещения с целью нахождения результирующего сопротивления относительно места КЗ;

Нахождение расчетного сопротивления  $x_{расч} = x_{\Sigma} \frac{S_{н\Sigma}}{U_{cp}^2}$  или  $x_{расч} = x_{*\Sigma} \frac{S_{н\Sigma}}{S_{\delta}}$ .

Выбор соответствующих кривых и нахождение для заданного момента времени относительной величины тока  $I_{*nt}$ .

Нахождение периодической составляющей тока КЗ для заданного момента

времени  $I_{nt} = I_{*nt} \cdot I_{н\Sigma}$ , где  $I_{н\Sigma} = \frac{S_{н\Sigma}}{\sqrt{3}U_{cp}}$  относится к ...

а) методу расчетных кривых при  $x_{расч} \leq 3$ ;

б) методу расчетных кривых при  $x_{расч} \geq 3$ ;

в) методу типовых кривых при наличии в схеме только источников конечной мощности;

г) методу типовых кривых при наличии в схеме источников конечной мощности и системы.

18. Для метода типовых кривых при наличии в схеме только источников конечной мощности выбрать правильную последовательность действий ...

Составление схемы замещения, в которую источники вводятся своими сверхпереходными ЭДС и сопротивлениями;

Преобразование схемы замещения с целью нахождения результирующего сопротивления относительно места КЗ;

Преобразование схемы замещения с выделением двух групп источников с целью нахождения результирующего сопротивления относительно места КЗ;

Определение начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ  $I_{к,0}$ ;

Определение начального значения периодической составляющей тока в

генераторной ветви  $I_{Г,0} = \frac{E''_{Г,0} - I_{к,0} x_k}{x_G}$ ;

Нахождение отношения тока  $I_{*Г,0} = \frac{I_{Г,0}}{I_{Гном}}$  или  $I_{*Г,0} = \frac{I_{*Г,0}[\delta]}{I_{*Гном}[\delta]}$ , а также  $\frac{I_{Г,0}}{I_{к,0}}$ .

Нахождение отношения тока по выражению  $I_{*Г,0} = \frac{I_{Г,0}}{I_{Гном}}$  или  $I_{*Г,0} = \frac{I_{*Г,0}[\delta]}{I_{*Гном}[\delta]}$ .

Выбор соответствующих кривых и нахождение для заданного момента времени

в зависимости от  $I_{*Г,0}$  относительной величины  $\gamma_t = \frac{I_{Гt}}{I_{Г,0}}$ .

Выбор соответствующих кривых и нахождение для заданного момента времени

в зависимости от  $I_{*Г,0}$  относительной величины  $\gamma_t = \frac{I_{Гt}}{I_{Г,0}}$ , а затем, в зависимости

от  $\gamma_t$  и  $\frac{I_{Г,0}}{I_{к,0}}$ , для заданного момента времени находится  $\gamma_{кт} = \frac{I_{кт}}{I_{к,0}}$ .

Нахождение искомой величины периодической составляющей тока КЗ для

заданного момента времени  $I_{Г,t} = \gamma_t \cdot I_{Г,0} = \gamma_t \cdot I_{*Г,0} I_{н\Sigma}$ , где  $I_{н\Sigma} = \frac{S_{н\Sigma}}{\sqrt{3}U_{cp}}$ .

Нахождение искомой величины периодической составляющей тока КЗ для

заданного момента времени  $I_{к,t} = \gamma_{кт} \cdot I_{к,0} = \gamma_t \cdot I_{к,0}$ .



19. ДОПОЛНИТЬ:

Для составления схемы замещения нулевой последовательности следует выявить возможные пути циркуляции токов нулевой последовательности на каждой ступени напряжения, начиная от точки КЗ, при этом необходимо руководствоваться следующим ...

1)                      2)                      3)

20. ДОПОЛНИТЬ:

Основные уравнения второго закона Кирхгофа при поперечной несимметрии отдельно для каждой последовательности будут иметь вид ...

1)                      2)                      3)

## Вариант № 2

1. Простое замыкание возможно ...
  - а) в сети с изолированной нейтралью;
  - б) в сети с компенсированной нейтралью;
  - в) в сети с глухозаземленной нейтралью;
  - г) в сети с компенсированной нейтралью.
2. Частный случай поперечной несимметрии – это ...
  - а) отключение одной из фаз ЛЭП;
  - б) трехфазное КЗ;
  - в) работа трех однофазных электроприемников равной мощности, включенных соответственно на междуфазное напряжение АВ, ВС, СА;
  - г) двухфазное КЗ.
3. Одной из целей расчета электромагнитных переходных процессов является ...
  - а) выбор устройств релейной защиты и определение их уставок;
  - б) выбор силовых трансформаторов по условию допустимого нагрева;
  - в) выбор конструкции фазы ЛЭП;
  - г) определение допустимого расстояния между фазным проводом ЛЭП и землей.
4. Выбрать общие выражения для определения приведенных к основной ступени значений отдельных величин цепи (приближенное приведение) ...
  - а)  $\dot{E} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)E; \dot{U} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)U; Z = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)^2 Z; i = \frac{1}{(k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)} I;$
  - б)  $\dot{E} = \frac{U_{србаз}}{U_{ср}} E; \dot{U} = \frac{U_{србаз}}{U_{ср}} U; Z = \left(\frac{U_{србаз}}{U_{ср}}\right)^2 Z; i = \frac{U_{ср}}{U_{србаз}} I;$
  - в)  $\dot{E} = \frac{U_{ср}}{U_{србаз}} E; \dot{U} = \frac{U_{ср}}{U_{србаз}} U; Z = \left(\frac{U_{ср}}{U_{србаз}}\right)^2 Z; i = \frac{U_{србаз}}{U_{ср}} I;$
  - г)  $\dot{E} = \frac{U_{србаз}}{U_{ср}} E; \dot{U} = \frac{U_{србаз}}{U_{ср}} U; Z = \left(\frac{U_{србаз}}{U_{ср}}\right)^2 Z; i = \frac{U_{србаз}}{U_{ср}} I;$
5. Обобщенная нагрузка, участвующая при расчете токов КЗ имеет следующие данные ...

а)  $E''_{назр} = 0,8$  и  $x''_{назр} = 0,35$ ; б)  $E''_{назр} = 0,35$  и  $x''_{назр} = 0,85$ ;  
 в)  $E''_{назр} = 0,9$  и  $x''_{назр} = 0,45$ ; г)  $E''_{назр} = 0,85$  и  $x''_{назр} = 0,35$ .

6. ДОПОЛНИТЬ:

Допущения, применяемые при практических методах расчета электромагнитных переходных процессов, – это

---

7. ДОПОЛНИТЬ:

Наибольшее значение апериодической составляющей тока трехфазного КЗ определяется по выражению ...

---

8. ДОПОЛНИТЬ:

Приближенный учет системы заключается ...

---

9. ДОПОЛНИТЬ:

Расчетное	время	КЗ	–	это	...
-----------	-------	----	---	-----	-----

---

10. ДОПОЛНИТЬ:

Двойное замыкание - это ...

---

11. Началом схемы прямой или обратной последовательности считается точка, в которой ...

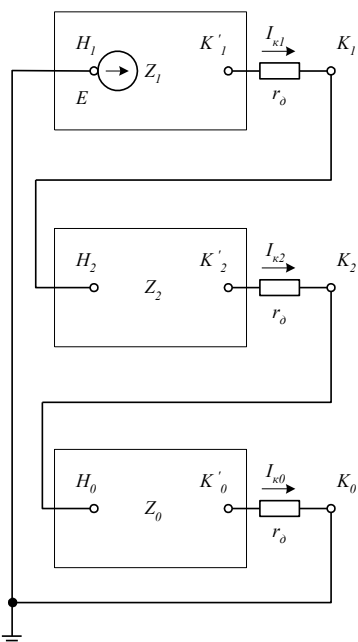
- а) объединены свободные концы всех генерирующих и нагрузочных ветвей;
- б) возникла рассматриваемая несимметрия;
- в) объединены ветви с нулевым потенциалом.

12. Приложенное напряжение нулевой последовательности при поперечной несимметрии вводится в схему

- а) в месте несимметрии относительно земли, считая, что в этой точке все фазы замкнуты между собой накоротко;
- б) в месте несимметрии относительно земли, непосредственно к поврежденным фазам;
- в) в месте, где объединены свободные концы генерирующих и нагрузочных

ветвей;

г) в месте несимметрии в расщелку фазных проводов, считая, что в этой точке все фазы замкнуты между собой накоротко.

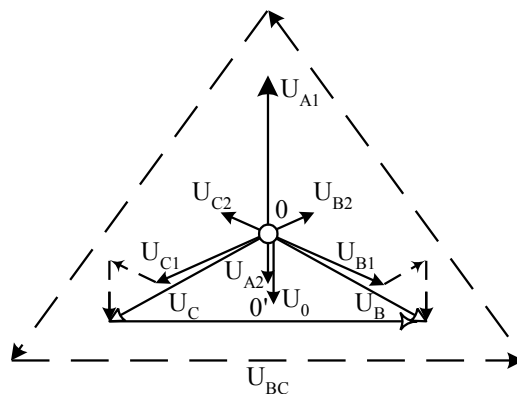


13. Приведенная комплексная схема замещения соответствует случаю ...

- а) двухфазного замыкания на землю через дугу;
- б) двухфазного замыкания через дугу;
- в) однофазного замыкания через дугу;
- г) при наличии сопротивления в одной фазе;
- д) при наличии одинаковых сопротивлений в двух фазах.

14. Данная векторная диаграмма напряжений в месте короткого замыкания соответствует

- а) однофазному КЗ;
- б) двухфазному КЗ;
- в) двухфазному КЗ на землю.



15. Вставить в таблицу вид КЗ соответствующий приведенным выражениям для дополнительного сопротивления  $\Delta x^{(n)}$  и значения коэффициента  $m^{(n)}$

Вид КЗ	Дополнительное сопротивление $\Delta x^{(n)}$	Значение коэффициента $m^{(n)}$
...	$x_{2\Sigma}$	$\sqrt{3}$
...	$x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}$	3
...	$\frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}$	$\sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}$

16. Схема нулевой последовательности является ...

- а) обычной схемой, которую составляют для расчета любого симметричного трехфазного режима или процесса, генераторы и нагрузки введены в нее соответствующими реактивностями и ЭДС, а остальные элементы - неизменными сопротивлениями;
- б) обычной схемой, которую составляют для расчета любого симметричного трехфазного режима или процесса, генераторы и нагрузки введены в нее соответствующими реактивностями и ЭДС, равными нулю, а остальные элементы - неизменными сопротивлениями;
- в) схемой, которая в значительной мере определяется соединением обмоток участвующих трансформаторов и прочих элементов.

17. Представленная ниже последовательность расчета периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени

- 1) Составление схемы замещения, в которую источники вводятся своими сверхпереходными ЭДС и сопротивлениями;
- 2) Преобразование схемы замещения с целью нахождения результирующего сопротивления относительно места КЗ;

3) Нахождение расчетного сопротивления  $x_{расч} = x_{\Sigma} \frac{S_{н\Sigma}}{U_{ср}^2}$  или  $x_{расч} = x_{*\Sigma} \frac{S_{н\Sigma}}{S_{б}}$ .

4) Нахождение для заданного момента времени относительной величины тока

$$I_{*nt} = \frac{I}{x_{расч}}$$

5) Нахождение искомой величины  $I_{пт}^{(3)}$  -

$$I_{пт} = I_{*nt} \cdot I_{н\Sigma} = I_{н\Sigma} \frac{I}{x_{расч}}, \text{ где } I_{н\Sigma} = \frac{S_{н\Sigma}}{\sqrt{3}U_{ср}}$$

относится к ...

- а) методу расчетных кривых при  $x_{расч} \leq 3$ ;
- б) методу расчетных кривых при  $x_{расч} \geq 3$ ;
- в) методу типовых кривых при наличии в схеме только источников конечной мощности;

г) методу типовых кривых при наличии в схеме источников конечной мощности и системы.

18. Для метода типовых кривых при наличии в схеме источников конечной мощности и системы выбрать правильную последовательность действий ...

□ Составление схемы замещения, в которую источники вводятся своими сверхпереходными ЭДС и сопротивлениями;

□ Преобразование схемы замещения с целью нахождения результирующего сопротивления относительно места КЗ;

□ Преобразование схемы замещения с выделением двух групп источников с целью нахождения результирующего сопротивления относительно места КЗ;

□ Определение начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ  $I_{к,0}$ ;

□ Определение периодической составляющей тока в генераторной ветви  $I_{Г,0} = \frac{E''_{Г,0} - I_{к,0}x_k}{x_G}$ ;

□ Нахождение отношения тока  $I_{*Г,0} = \frac{I_{Г,0}}{I_{Гном}}$  или  $I_{*Г,0} = \frac{I_{*Г,0[\delta]}}{I_{*Гном[\delta]}}$ , а также  $\frac{I_{Г,0}}{I_{к,0}}$ .

□ Нахождение отношения тока по выражению

$$I_{*Г,0} = \frac{I_{Г,0}}{I_{Гном}} \text{ или } I_{*Г,0} = \frac{I_{*Г,0[\delta]}}{I_{*Гном[\delta]}}.$$

□ Выбор соответствующих кривых и нахождение в зависимости от  $I_{*Г,0}$

относительной величины  $\gamma_t = \frac{I_{Гt}}{I_{Г,0}}$ .

□ Выбор соответствующих кривых и нахождение в зависимости от  $I_{*Г,0}$

относительной величины  $\gamma_t = \frac{I_{Гt}}{I_{Г,0}}$ , а затем в зависимости от  $\gamma_t$  и  $\frac{I_{Г,0}}{I_{к,0}}$  для

заданного момента времени находится  $\gamma_{kt} = \frac{I_{kt}}{I_{к,0}}$ .

□ Нахождение искомой величины  $I_{\Pi}^{(3)}$  -

$$I_{Г,t} = \gamma_t \cdot I_{Г,0} = \gamma_t \cdot I_{*Г,0} I_{н\Sigma}, \text{ где } I_{н\Sigma} = \frac{S_{н\Sigma}}{\sqrt{3}U_{cp}}.$$

□ Нахождение искомой величины  $I_{\Pi}^{(3)}$  -  $I_{к,t} = \gamma_{к,t} \cdot I_{Г,0} = \gamma_t \cdot I_{к,0}$ .

19. Как влияет токоограничивающий реактор в схеме на величину тока и остаточного напряжения в месте КЗ ...

- а) снижает ток КЗ и увеличивает остаточное напряжение;
- б) увеличивает ток КЗ и снижает остаточное напряжение;
- в) увеличивает ток КЗ и увеличивает остаточное напряжение;
- г) снижает ток КЗ и снижает остаточное напряжение.

20. ДОПОЛНИТЬ:

Сопротивления трехобмоточного трансформатора при расчете токов симметричного КЗ определяются следующим образом ...

### Вариант № 3

1. Одной из разновидностей короткого замыкания является ...
  - а) замыкание одной фазы на землю в системе с изолированной нейтралью;
  - б) замыкание одной или нескольких фаз на землю в системе с глухозаземленной нейтралью;
  - в) отключение коммутационного аппарата на подстанции или электростанции;
  - г) работа линии электропередачи в неполнофазном режиме.
2. Частный случай продольной несимметрии – это ...
  - а) отключение одной из фаз ЛЭП;
  - б) двухфазное КЗ;
  - в) обрыв фазного провода ЛЭП, когда один конец провода лежит на земле, а другой остается подвешенным;
  - г) подключение однофазной нагрузки к ЛЭП.
3. Одним из расчетных условий для выбора и проверки выключателя является ...
  - а) металлическое КЗ;
  - б) определение наименьшей величины тока КЗ;
  - в) данные о числе и месте расположения заземленных нейтралей в схеме;
  - г) несимметричное КЗ.
4. Постоянная времени затухания свободной составляющей при КЗ определяется по выражению ...

$$а) T_a = \frac{X_\Sigma}{\omega R_\Sigma}; б) T_a = \frac{R_\Sigma}{\omega X_\Sigma}; в) T_a = \frac{\omega}{X_\Sigma R_\Sigma}; г) T_a = \omega X_\Sigma R_\Sigma.$$

5. Сверхпереходная ЭДС синхронного генератора в именованных единицах в режиме перевозбуждения определяется по выражению ...

$$а) E_\phi'' = \sqrt{\left( U_{\phi|0|} + I_{|0|} x_d'' \sin \varphi_{|0|} \right)^2 + \left( I_{|0|} x_d'' \cos \varphi_{|0|} \right)^2};$$

$$б) E_\phi'' = \sqrt{\left( U_{\phi|0|} - I_{|0|} x_d'' \sin \varphi_{|0|} \right)^2 + \left( I_{|0|} x_d'' \cos \varphi_{|0|} \right)^2};$$

$$в) E_\phi'' = U_{\phi|0|} + I_{|0|} x_d''; \quad г) E_\phi'' = \sqrt{\left( U_{\phi|0|} + I_{|0|} x_d'' \sin \varphi_{|0|} \right)^2}.$$



6. ДОПОЛНИТЬ:

Допущения, применяемые при определении ударного тока КЗ, – это ...

---

7. ДОПОЛНИТЬ:

Апериодическая составляющая тока трехфазного КЗ в произвольный момент времени определяется по выражению ...

---

8. ДОПОЛНИТЬ:

Понятие “система”, используемое при расчете токов КЗ, – это ...

---

9. ДОПОЛНИТЬ:

Что понимается под расчетом электромагнитных переходных процессов ...

---

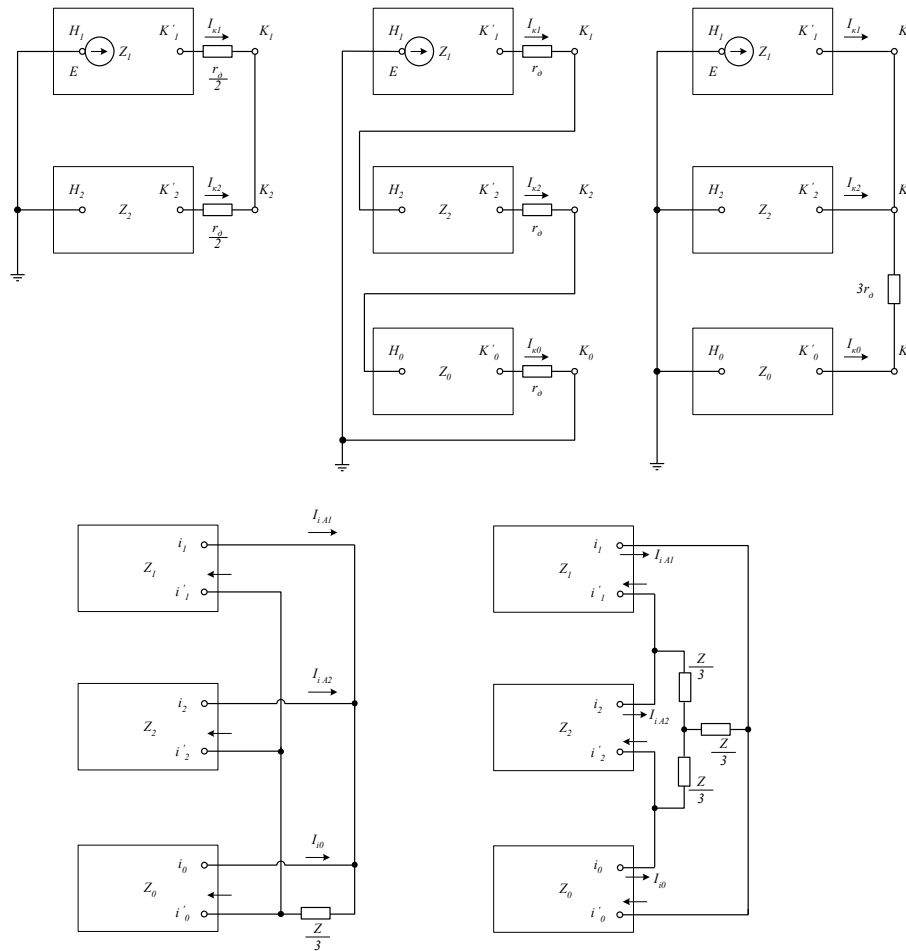
10. ДОПОЛНИТЬ:

Простое замыкание - это ...

---

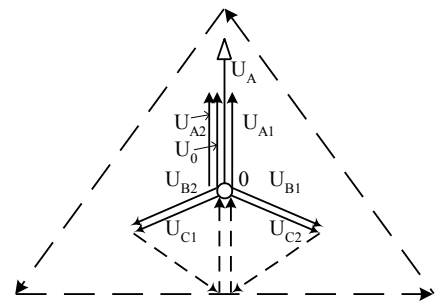
11. Расставить номера для приведенных комплексных схем замещения ...

- 1) при наличии одинаковых сопротивлений в двух фазах;
- 2) двухфазного замыкания через дугу;
- 3) при наличии сопротивления в одной фазе;
- 4) однофазного замыкания через дугу;
- 5) двухфазного замыкания на землю через дугу.



12. Данная векторная диаграмма напряжений в месте короткого замыкания соответствует

- а) однофазному КЗ;
- б) двухфазному КЗ;
- в) двухфазному КЗ на землю.



13. Учитывая, что токи обратной и нулевой последовательности особой фазы в месте несимметричного КЗ связаны с током прямой последовательности, выбрать необходимые соотношения для двухфазного КЗ на землю

а)  $\underline{I}_{\kappa A2} = -\underline{I}_{\kappa A1}$ ;      б)  $\underline{I}_{\kappa A2} = \underline{I}_{\kappa A1} = \underline{I}_{\kappa A0}$ ;

в)  $\underline{I}_{\kappa A2} = -\underline{I}_{\kappa A1} \frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}$ ,     $\underline{I}_{\kappa A0} = -\underline{I}_{\kappa A1} \frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}$ .

14. Концом схемы нулевой последовательности считается точка, в которой ...

- а) объединены свободные концы всех генерирующих и нагрузочных ветвей;

- б) возникла рассматриваемая несимметрия;
- в) объединены ветви с нулевым потенциалом.

15. Приложенное напряжение нулевой последовательности при продольной несимметрии вводится в схему

- а) в месте несимметрии относительно земли, считая, что в этой точке все фазы замкнуты между собой накоротко;
- б) в месте несимметрии относительно земли, непосредственно к поврежденным фазам;
- в) в месте, где объединены свободные концы генерирующих и нагрузочных ветвей;
- г) в месте несимметрии в рассечку фазных проводов, считая, что в этой точке все фазы замкнуты между собой накоротко.

16. Граничными условиями для двухфазного КЗ являются ...

- а)  $I_{кВ}^{(1)} = 0; I_{кС}^{(1)} = 0; U_{кА}^{(1)} = 0;$
- б)  $I_{кА}^{(2)} = 0; I_{кВ}^{(2)} = -I_{кС}^{(2)}; U_{кВ}^{(2)} - U_{кС}^{(2)} = 0;$
- в)  $I_{кА}^{(1,1)} = 0; U_{кВ}^{(1,1)} = 0; U_{кС}^{(1,1)} = 0.$

17. Представленная ниже последовательность расчета периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени

- 6) Составление схемы замещения, в которую источники вводятся своими сверхпереходными ЭДС и сопротивлениями;
- 7) Преобразование схемы замещения с целью нахождения результирующего сопротивления относительно места КЗ;
- 8) Нахождение отношения тока по выражению

$$I_{*Г,0} = \frac{I_{Г,0}}{I_{Гном}} \text{ или } I_{*Г,0} = \frac{I_{*Г,0}[\delta]}{I_{*Гном}[\delta]}$$

- 9) Выбор соответствующих кривых и нахождение для заданного момента

времени в зависимости от  $I_{*Г,0}$  относительной величины  $\gamma_t = \frac{I_{Гt}}{I_{Г,0}}$ .

10) Нахождение искомой величины периодической составляющей тока КЗ для заданного момента времени

$$I_{Г,t} = \gamma_t \cdot I_{Г,0} = \gamma_t \cdot I_{*Г,0} I_{н\Sigma}, \text{ где } I_{н\Sigma} = \frac{S_{н\Sigma}}{\sqrt{3}U_{cp}}.$$

относится к ...

- а) методу расчетных кривых при  $x_{расч} \leq 3$ ;
- б) методу расчетных кривых при  $x_{расч} \geq 3$ ;
- в) методу типовых кривых при наличии в схеме только источников конечной мощности;
- г) методу типовых кривых при наличии в схеме источников конечной мощности и системы.

18. ДОПОЛНИТЬ:

Правило эквивалентности прямой последовательности при поперечной несимметрии ...

---

---

19. При замене на подстанции двухобмоточных трансформаторов на двухобмоточные трансформаторы с обмоткой НН, расщепленной на две, величина тока КЗ на секции шин ...

- а) увеличится;
- б) уменьшится;
- в) не изменится.

20. ДОПОЛНИТЬ:

Сопротивление генератора при расчете токов симметричного КЗ определяется следующим образом ...

## Вариант № 4

1. Переходное сопротивление, образующееся в месте замыкания, в общем случае состоит из ...

- а) сопротивления электрической дуги;
- б) сопротивления электрической дуги и сопротивлений прочих элементов пути тока от одной фазы к другой или от фазы на землю;
- в) сопротивления элемента, вызвавшего замыкание между фазами или фазой и землей;
- г) полного сопротивления цепи короткого замыкания.

2. Одним из самоустраняющихся повреждений ЛЭП является ...

- а) обрыв фазного провода ЛЭП;
- б) отключение ЛЭП устройствами релейной защиты;
- в) перекрытие по поверхности гирлянды изоляторов ЛЭП, вызванное грозным разрядом;
- г) преднамеренное КЗ на подстанции с отделителем и короткозамыкателем.

3. В качестве базисных единиц при расчете переходных процессов берутся ...

- а) ток, напряжение, мощность, частота;
- б) ток, напряжение, мощность, сопротивление;
- в) сопротивление, напряжение, мощность, частота;
- г) ток, напряжение, мощность.

4. Для синхронной машины при чисто индуктивной цепи статора продольная составляющая начального значения периодической слагающей тока возникшего переходного процесса или так называемого начального сверхпереходного тока определяется ...

$$а) I''_{d|0} = \frac{E''_{q|0}}{x''_{d|0} + x_{en}}; б) I''_{d|0} = \frac{E''_{d|0}}{x''_{d|0} + x_{en}}; в) I''_{q|0} = \frac{E''_{d|0}}{x''_{q|0} + x_{en}}; г) I''_{d|0} = \frac{E''_{d|0}}{x''_{d|0}}.$$

5. Сверхпереходная ЭДС синхронного компенсатора в именованных единицах в режиме недовозбуждения определяется по выражению ...

$$а) E''_{\phi} = \sqrt{\left( U_{\phi|0} + I_{|0} x''_d \sin \varphi_{|0} \right)^2 + \left( I_{|0} x''_d \cos \varphi_{|0} \right)^2};$$

$$б) E_{\phi}'' = \sqrt{\left( U_{\phi|0|} - I_{|0|} x_d'' \sin \varphi_{|0|} \right)^2 + \left( I_{|0|} x_d'' \cos \varphi_{|0|} \right)^2};$$

$$в) E_{\phi}'' = U_{\phi|0|} - I_{|0|} x_d''; \quad з) E_{\phi}'' = \sqrt{\left( U_{\phi|0|} - I_{|0|} x_d'' \sin \varphi_{|0|} \right)^2}.$$

6. ДОПОЛНИТЬ:

Задачи, требующие расчета электромагнитных переходных процессов, – это ...

---

7. ДОПОЛНИТЬ:

Ударный ток трехфазного КЗ определяется по выражению ...

---

8. ДОПОЛНИТЬ:

В каких случаях можно эквивалентировать между собой источники конечной мощности и источники с ЭДС, неизменной во времени ...

---

9. ДОПОЛНИТЬ: Остаточное напряжение - это ...

---

10. ДОПОЛНИТЬ:

Сложное замыкание - это ...

---

11. Приведенная комплексная схема замещения соответствует случаю ...

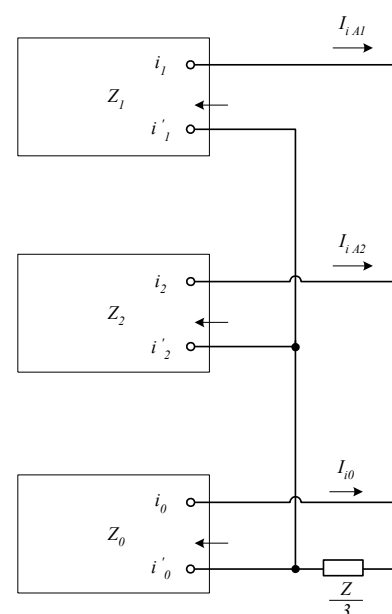
а) двухфазного замыкания на землю через дугу;

б) двухфазного замыкания через дугу;

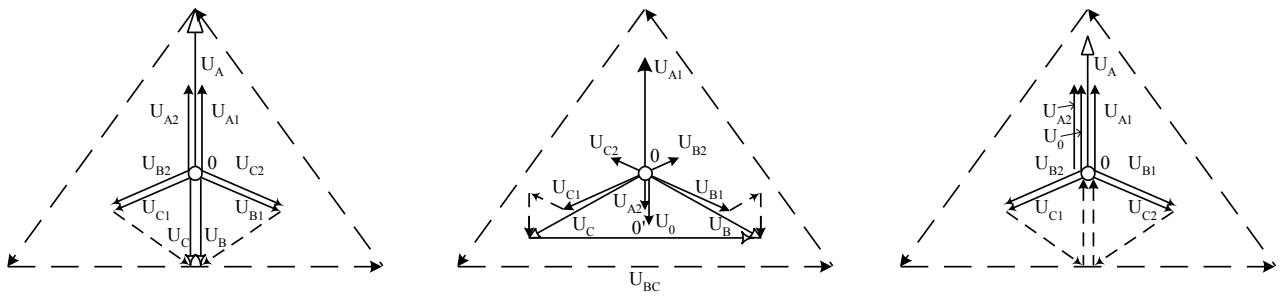
в) однофазного замыкания через дугу;

г) при наличии сопротивления в одной фазе;

д) при наличии одинаковых сопротивлений в двух фазах.



12. Расставить номера для приведенных векторных диаграмм напряжений в



месте короткого замыкания

- 1) Однофазное КЗ;
- 2) Двухфазное КЗ;
- 3) Двухфазное КЗ на землю.

13. Учитывая, что токи обратной и нулевой последовательностей особой фазы в месте несимметричного КЗ связаны с током прямой последовательности, выбрать необходимые соотношения для двухфазного КЗ

а)  $\underline{I}_{\kappa A2} = -\underline{I}_{\kappa A1}$ ;      б)  $\underline{I}_{\kappa A2} = \underline{I}_{\kappa A1} = \underline{I}_{\kappa A0}$ ;

в)  $\underline{I}_{\kappa A2} = -\underline{I}_{\kappa A1} \frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}$ ,     $\underline{I}_{\kappa A0} = -\underline{I}_{\kappa A1} \frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}$ .

14. Концом схемы прямой или обратной последовательности считается точка, в которой ...

- а) объединены свободные концы всех генерирующих и нагрузочных ветвей;
- б) возникла рассматриваемая несимметрия;
- в) объединены ветви с нулевым потенциалом.

15. Циркуляции токов нулевой последовательности при поперечной несимметрии возможна ...

- а) при наличии хотя бы одной заземленной нейтрали;
- б) при наличии как минимум двух заземленных нейтралей;
- в) даже при отсутствии заземленных нейтралей, если при этом имеется замкнутый контур через обходные пути той же электрически связанной цепи.

16. Граничными условиями для двухфазного КЗ на землю являются ...

а)  $I_{\kappa B}^{(1)} = 0$ ;     $I_{\kappa C}^{(1)} = 0$ ;     $U_{\kappa A}^{(1)} = 0$ ;

б)  $I_{\kappa A}^{(2)} = 0$ ;     $I_{\kappa B}^{(2)} = -I_{\kappa C}^{(2)}$ ;     $U_{\kappa B}^{(2)} - U_{\kappa C}^{(2)} = 0$ ;

$$в) I_{кА}^{(1,1)} = 0; \quad U_{кВ}^{(1,1)} = 0; \quad U_{кС}^{(1,1)} = 0.$$

17. Представленная ниже последовательность расчета периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени

Составление схемы замещения, в которую источники вводятся своими сверхпереходными ЭДС и сопротивлениями;

Преобразование схемы замещения с выделением двух групп источников с целью нахождения результирующего сопротивления относительно места КЗ;

Определение начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ  $I_{к,0}$ ;

Определение начального значения периодической составляющей тока в

$$\text{генераторной ветви } I_{Г,0} = \frac{E_{Г,0}'' - I_{к,0} x_{к}}{x_{Г}};$$

Нахождение отношения тока по выражению

$$I_{*Г,0} = \frac{I_{Г,0}}{I_{Гном}} \text{ или } I_{*Г,0} = \frac{I_{*Г,0}[\delta]}{I_{*Гном}[\delta]}, \quad \text{а также } \frac{I_{Г,0}}{I_{к,0}}.$$

Выбор соответствующих кривых и нахождение для заданного момента времени

в зависимости от  $I_{*Г,0}$  относительной величины  $\gamma_t = \frac{I_{Гt}}{I_{Г,0}}$ , а затем, в зависимости

от  $\gamma_t$  и  $\frac{I_{Г,0}}{I_{к,0}}$ , для заданного момента времени находится  $\gamma_{кт} = \frac{I_{кт}}{I_{к,0}}$ .

Нахождение искомой величины периодической составляющей тока КЗ для заданного момента времени

$$I_{к,t} = \gamma_{к,t} \cdot I_{Г,0} = \gamma_t \cdot I_{к,0}.$$

относится к ...

а) методу расчетных кривых при  $x_{расч} \leq 3$ ;

б) методу расчетных кривых при  $x_{расч} \geq 3$ ;

в) методу типовых кривых при наличии в схеме только источников конечной мощности;

г) методу типовых кривых при наличии в схеме источников конечной мощности и системы.



18. ДОПОЛНИТЬ:

Правило эквивалентности прямой последовательности при поперечной несимметрии ...

---

---

19. При реконструкции районной электрической сети линию электропередачи, питающую тупиковую двухтрансформаторную подстанцию, заменили на двухцепную. Как изменится ли величина тока КЗ на шинах ВН подстанции ...

а) увеличится;

б) уменьшится;

в) не изменится.

20. ДОПОЛНИТЬ:

Сопротивление реактора при расчете токов симметричного КЗ определяется следующим образом ...

## Вариант № 5

1. Короткое замыкание называют металлическим, если ...
  - а) сопротивление электрической дуги мало;
  - б) переходное сопротивление мало;
  - в) длина электрической дуги достаточно велика;
  - г) перегорает элемент, вызвавший замыкание, и возникает электрическая дуга.
2. Одним из самоустраняющихся повреждений ЛЭП является ...
  - а) обрыв фазного провода ЛЭП;
  - б) отключение ЛЭП устройствами релейной защиты;
  - в) схлестывание проводов ЛЭП при ветровом напоре;
  - г) преднамеренное КЗ на подстанции с отделителем и короткозамыкателем.
3. При приведении параметров элементов схемы замещения к основной ступени под коэффициентом трансформации понимается ...
  - а) отношение напряжения обмотки, обращенной в сторону места возникновения повреждения к напряжению обмотки, элементы которой подлежат приведению;
  - б) отношение напряжения обмотки, обращенной в сторону основной ступени, к напряжению другой его обмотки, находящейся ближе к ступени, элементы которой подлежат приведению;
  - в) отношение напряжения обмотки ВН к напряжению обмотки НН;
  - г) отношение напряжения обмотки, элементы которой подлежат приведению, к напряжению обмотки, обращенной в сторону основной ступени.
4. Устройство АРВ генераторов при возникновении КЗ способствует ...
  - а) увеличению токов и напряжений в месте КЗ;
  - б) поддержанию напряжения в месте КЗ на постоянном уровне;
  - в) работе генератора в синхронном режиме;
  - г) снижению величины токов и напряжений.

5. Сверхпереходная ЭДС асинхронного двигателя в именованных единицах определяется по выражению ...

$$\begin{aligned}
 a) E_{\phi}'' &= \sqrt{(U_{\phi|0|} + I_{|0|} x_{AD}'' \sin \varphi_{|0|})^2 + (I_{|0|} x_{AD}'' \cos \varphi_{|0|})^2}; & в) E_{\phi}'' &= U_{\phi|0|} + I_{|0|} x_{AD}''; \\
 б) E_{\phi}'' &= \sqrt{(U_{\phi|0|} - I_{|0|} x_{AD}'' \sin \varphi_{|0|})^2 + (I_{|0|} x_{AD}'' \cos \varphi_{|0|})^2}; & з) E_{\phi}'' &= \sqrt{(U_{\phi|0|} - I_{|0|} x_{AD}'' \sin \varphi_{|0|})^2}.
 \end{aligned}$$

6. ДОПОЛНИТЬ: Основные методы преобразования схем замещения, используемые при расчетах токов КЗ, – это ...

---

7. ДОПОЛНИТЬ:

Действующее значение полного тока трехфазного КЗ определяется по выражению ...

---

8. ДОПОЛНИТЬ:

Записать условие эквивалентирования между собой синхронных двигателей различной мощности ...

---

9. ДОПОЛНИТЬ:

Расчетные условия для выбора и проверки выключателя по условиям работы при КЗ ...

---

10. ДОПОЛНИТЬ:

Под симметричным КЗ понимается ...

---

11. Для случая двухфазного КЗ выбрать дополнительное сопротивление  $\Delta x^{(n)}$  и коэффициент  $m^{(n)}$

$$a) \Delta x^{(n)} = x_{2\Sigma}; \quad б) \Delta x^{(n)} = x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}; \quad в) \Delta x^{(n)} = \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}.$$

$$a) m^{(n)} = \sqrt{3}; \quad б) m^{(n)} = 3; \quad в) m^{(n)} = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}.$$

12. Учитывая, что токи обратной и нулевой последовательностей особой фазы в месте несимметричного КЗ связаны с током прямой последовательности, выбрать необходимые соотношения для однофазного КЗ

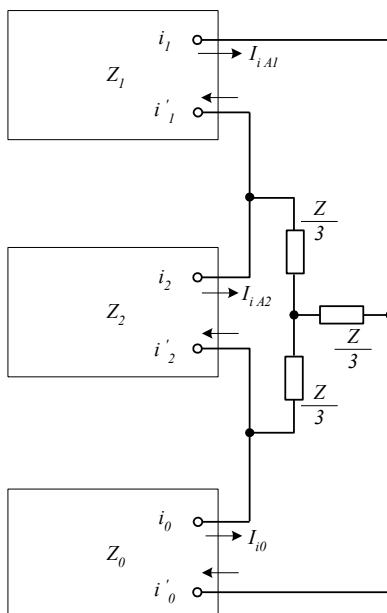
$$а) \underline{I}_{\kappa A2} = -\underline{I}_{\kappa A1};$$

$$б) \underline{I}_{\kappa A2} = \underline{I}_{\kappa A1} = \underline{I}_{\kappa A0};$$

$$в) \underline{I}_{\kappa A2} = -\underline{I}_{\kappa A1} \frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}, \quad \underline{I}_{\kappa A0} = -\underline{I}_{\kappa A1} \frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}.$$

13. Приведенная комплексная схема замещения соответствует случаю ...

а) двухфазного замыкания на землю через дугу;



б) двухфазного замыкания через дугу;

в) однофазного замыкания через дугу;

г) при наличии сопротивления в одной фазе;

д) при наличии одинаковых сопротивлений в двух фазах.

14. В практических приближенных расчетах разрешается принимать сопротивление обратной последовательности синхронной машины равным ...

а)  $x_2 \approx 1,45x'_d$ ; б)  $x_2 \approx 1,22x''_d$ ; в)  $x_2 \approx x''_d$ .

15. Циркуляции токов нулевой последовательности при продольной несимметрии возможна ...

а) при наличии хотя бы одной заземленной нейтрали;

б) при наличии как минимум двух заземленных нейтралей;

в) при наличии заземленных нейтралей с обеих сторон от места, где приложено напряжение нулевой последовательности;

16. Граничными условиями для однофазного КЗ являются ...

$$a) I_{кВ}^{(1)} = 0; I_{кС}^{(1)} = 0; U_{кА}^{(1)} = 0;$$

$$б) I_{кА}^{(2)} = 0; I_{кВ}^{(2)} = -I_{кС}^{(2)}; U_{кВ}^{(2)} - U_{кС}^{(2)} = 0;$$

$$в) I_{кА}^{(1,1)} = 0; U_{кВ}^{(1,1)} = 0; U_{кС}^{(1,1)} = 0.$$

17. Для метода расчетных кривых при  $x_{расч} \leq 3$  выбрать правильную последовательность действий ...

- Составление схемы замещения, в которую источники вводятся своими сверхпереходными ЭДС и сопротивлениями;
- Преобразование схемы замещения с целью нахождения результирующего сопротивления относительно места КЗ;
- Нахождение расчетного сопротивления по выражению

$$x_{расч} = x_{\Sigma} \frac{S_{н\Sigma}}{U_{cp}^2} \text{ или } x_{расч} = x_{*\Sigma} \frac{S_{н\Sigma}}{S_{\theta}}.$$

- Выбор соответствующих кривых и нахождение для заданного момента времени относительной величины тока  $I_{*nt}$ .

- Нахождение для заданного момента времени относительной величины тока

$$I_{*nt} = \frac{I}{x_{расч}}.$$

- Нахождение искомой величины периодической составляющей тока КЗ для заданного момента времени

$$I_{nt} = I_{*nt} \cdot I_{н\Sigma}, \text{ где } I_{н\Sigma} = \frac{S_{н\Sigma}}{\sqrt{3}U_{cp}}.$$

- Нахождение искомой величины периодической составляющей тока КЗ для заданного момента времени

$$I_{nt} = I_{*nt} \cdot I_{н\Sigma} = I_{н\Sigma} \frac{I}{x_{расч}}, \text{ где } I_{н\Sigma} = \frac{S_{н\Sigma}}{\sqrt{3}U_{cp}}.$$

18. ДОПОЛНИТЬ:

Ток прямой последовательности особой фазы в месте КЗ при любом несимметричном коротком замыкании определяется по выражению ...

---

19. С целью снижения величины тока однофазного КЗ в энергосистемах, имеющих глухозаземленные нейтрали, принимают следующие меры...

- а) устанавливают в нейтраль дугогасящий реактор;
- б) частично разземляют нейтрали;
- в) включают в нейтраль активное сопротивление.

20. ДОПОЛНИТЬ: Сопротивление двухобмоточного трансформатора с обмоткой низшего напряжения, расщепленной на две, при расчете токов симметричного КЗ определяется следующим образом ...

## Вариант № 6

1. Короткое замыкание является симметричным, если это ...
  - а) однофазное КЗ;
  - б) двухфазное КЗ;
  - в) трехфазное КЗ;
  - г) двухфазное КЗ на землю.
2. Преднамеренное КЗ – это ...
  - а) перенапряжения, вызванные проведением различных высоковольтных испытаний;
  - б) отключение фазы ЛЭП для ремонта;
  - в) работа устройств электрической сварки;
  - г) срабатывание короткозамыкателя на подстанции с отделителем и короткозамыкателем.

3. Выбрать общие выражения для определения приведенных к основной ступени значений отдельных величин цепи (точное приведение)

$$а) \dot{E} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)E; \dot{U} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)U; Z = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)^2 Z; \dot{I} = \frac{I}{(k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)} I;$$

$$б) \dot{E} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)E; \dot{U} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)U; Z = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)Z; \dot{I} = \frac{I}{(k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)} I;$$

$$в) \dot{E} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)E; \dot{U} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)U; Z = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)^2 Z; \dot{I} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)I;$$

$$г) \dot{E} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)E; \dot{U} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)U; Z = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)^2 Z; \dot{I} = \frac{I}{(k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)} I;$$

4. Если у явнополюсной синхронной машины без демпферных обмоток внезапно произошло изменение сопротивления цепи статора (при этом внешнее сопротивление является чисто индуктивным  $x_{вн}$ ), то начальный переходной ток определяется ...

$$а) I'_{d|0} = \frac{E'_{q|0}}{x'_{d|0} + x_{ен}}; б) I'_{d|0} = \frac{E'_{d|0}}{x'_{d|0} + x_{ен}}; в) I'_{q|0} = \frac{E'_{q|0}}{x'_{d|0} + x_{ен}}; г) I'_{d|0} = \frac{E'_{q|0}}{x'_{d|0}}.$$

5. Сверхпереходное индуктивное сопротивление асинхронного двигателя в именованных единицах определяется по выражению ...

$$a) x''_{Ad} = \frac{1}{K_n} \cdot \frac{U_{ном}^2 \cos \varphi_{ном} \eta}{P_{ном}};$$

$$б) x''_{Ad} = \frac{1}{K_n}; \quad в) x''_{Ad} = \frac{U_{ном}^2 \cos \varphi_{ном} \eta}{P_{ном}};$$

$$г) x''_{Ad} = \frac{1}{K_n} \cdot \frac{U_{ном}^2}{P_{ном}};$$

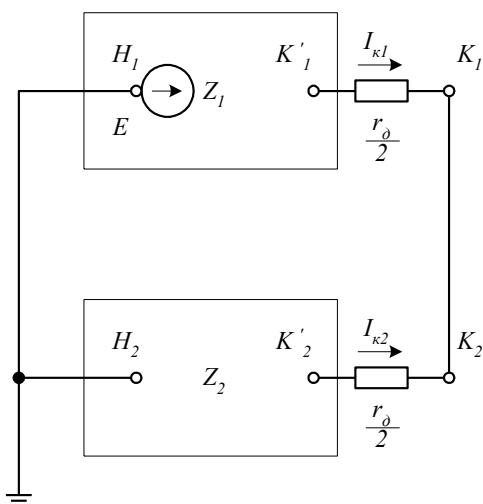
6. ДОПОЛНИТЬ: Основные методы расчета электромагнитных переходных процессов, – это ...

7. ДОПОЛНИТЬ: Если точка КЗ делит схему на радиальные не зависимые друг от друга ветви, то при приближенных расчетах ударный ток трехфазного КЗ определяется по выражению ...

8. ДОПОЛНИТЬ: Записать выражения для определения тока КЗ от системы для различных моментов времени ...

9. ДОПОЛНИТЬ: Расчет для выбора выключателей по отключающей способности заключается в следующем ...

10. ДОПОЛНИТЬ: Под несимметричным КЗ понимается ...



11. Приведенная комплексная схема замещения соответствует случаю ...

- а) двухфазного замыкания на землю через дугу;
- б) двухфазного замыкания через дугу;
- в) однофазного замыкания через дугу;
- г) при наличии сопротивления в одной фазе;
- д) при наличии одинаковых сопротивления в двух фазах.



12. Для случая двухфазного КЗ на землю выбрать соответствующее дополнительное сопротивление  $\Delta x^{(n)}$

$$a) \Delta x^{(n)} = x_{2\Sigma}; \quad б) \Delta x^{(n)} = x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}; \quad в) \Delta x^{(n)} = \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}.$$

и значение коэффициента  $m^{(n)}$

$$a) m^{(n)} = \sqrt{3}; \quad б) m^{(n)} = 3; \quad в) m^{(n)} = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}.$$

13. Учитывая, что токи обратной и нулевой последовательностей особой фазы в месте несимметричного КЗ связаны с током прямой последовательности, необходимо правильно расставить номера для необходимых соотношений

$$\underline{I}_{\kappa A2} = -\underline{I}_{\kappa A1};$$

$$\underline{I}_{\kappa A2} = \underline{I}_{\kappa A1} = \underline{I}_{\kappa A0};$$

$$\underline{I}_{\kappa A2} = -\underline{I}_{\kappa A1} \frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}, \quad \underline{I}_{\kappa A0} = -\underline{I}_{\kappa A1} \frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}.$$

- 1) однофазное КЗ;
- 2) 2) двухфазное КЗ на землю;
- 3) 3) двухфазное КЗ.

14. В практических приближенных расчетах разрешается принимать сопротивление нулевой последовательности синхронной машины равным ...

- а)  $x_0 \approx 1,45x'_d$ ;
- б)  $x_0 \approx 1,22x''_d$ ;
- в)  $x_2 \approx x''_d$ ;
- г)  $x_2 \approx (0,15 \div 0,6)x''_d$

15. Схема прямой последовательности является ...

- а) обычной схемой, которую составляют для расчета любого симметричного трехфазного режима или процесса, генераторы и нагрузки введены в нее соответствующими реактивностями и ЭДС, а остальные элементы - неизменными сопротивлениями;
- б) обычной схемой, которую составляют для расчета любого симметричного трехфазного режима или процесса, генераторы и нагрузки введены в нее

соответствующими реактивностями и ЭДС, равными нулю, а остальные элементы - неизменными сопротивлениями;

в) схемой, которая в значительной мере определяется соединением обмоток участвующих трансформаторов и прочих элементов.

16. Расставить правильные номера для граничных условий следующих видов КЗ ...

$$I_{KB}^{(1)} = 0; \quad I_{KC}^{(1)} = 0; \quad U_{KA}^{(1)} = 0;$$

$$I_{KA}^{(2)} = 0; \quad I_{KB}^{(2)} = -I_{KC}^{(2)}; \quad U_{KB}^{(2)} - U_{KC}^{(2)} = 0;$$

$$I_{KA}^{(1,1)} = 0; \quad U_{KB}^{(1,1)} = 0; \quad U_{KC}^{(1,1)} = 0.$$

- 1) двухфазное КЗ;
- 2) двухфазное КЗ на землю;
- 3) однофазное КЗ.

17. Для метода расчетных кривых при  $x_{расч} \geq 3$  выбрать правильную последовательность действий ...

- Составление схемы замещения, в которую источники вводятся своими сверхпереходными ЭДС и сопротивлениями;
- Преобразование схемы замещения с целью нахождения результирующего сопротивления относительно места КЗ;
- Нахождение расчетного сопротивления по выражению

$$x_{расч} = x_{\Sigma} \frac{S_{н\Sigma}}{U_{ср}^2} \text{ или } x_{расч} = x_{*\Sigma} \frac{S_{н\Sigma}}{S_{\sigma}}.$$

- Выбор соответствующих кривых и нахождение для заданного момента времени относительной величины тока  $I_{*nt}$ .
- Нахождение для заданного момента времени относительной величины тока

$$I_{*nt} = \frac{I}{x_{расч}}.$$

- Нахождение искомой величины периодической составляющей тока КЗ для заданного момента времени

$$I_{nt} = I_{*nt} \cdot I_{n\Sigma}, \text{ где } I_{n\Sigma} = \frac{S_{n\Sigma}}{\sqrt{3}U_{cp}}.$$

□ Нахождение искомой величины периодической составляющей тока КЗ для заданного момента времени

$$I_{nt} = I_{*nt} \cdot I_{n\Sigma} = I_{n\Sigma} \frac{I}{x_{расч}}, \text{ где } I_{n\Sigma} = \frac{S_{n\Sigma}}{\sqrt{3}U_{cp}}.$$

18. ДОПОЛНИТЬ: Полный ток поврежденной фазы в месте КЗ при любом несимметричном коротком замыкании определяется по выражению ...

---

19. При расщеплении фазы ЛЭП на три провода величина тока КЗ ...

- а) уменьшится;
- б) увеличится;
- в) не изменится.

20. ДОПОЛНИТЬ: Сопротивление линии при расчете токов симметричного КЗ определяется следующим образом ...

## 6. Контрольные работы

В процессе изучения дисциплины (после каждого практического занятия) студенты последовательно разрабатывают предложенные в задании вопросы и защищают их согласно графику, указанному в учебно-методической (технологической) карте дисциплины. На последнем практическом занятии студенты защищают комплексное задание целиком, с его анализом и оценкой принятых инженерных решений. Все задачи, включённые в задания, даны в нескольких вариантах, поэтому каждый студент получает шифр индивидуального задания, выдаваемый руководителем.

### Задание на контрольную работу № 1.

Задача № 1. Схема, представленная на рис. 1. содержит 5 ступеней трансформации, взаимно связанных пятью трансформаторами.

Требуется:

- а) составить схему замещения, выразив её элементы в относительных и именованных единицах с точным и приближённым приведением элементов схемы замещения;
- б) преобразовать схему замещения относительно заданной точки короткого замыкания;
- в) определить начальный сверхпереходный ток при трёхфазном КЗ в точке  $K_n$ ;
- г) оценить погрешность расчёта ( в процентах ) при приближённом приведении элементов схемы замещения, сравнив результаты расчёта с результатами точного приведения.

Исходные данные приведены в таблице.

П р и м е ч а н и я .

1. Расчёты по пунктам б, в, г, по заданию руководителя выполнить в именованных или в относительных единицах.
2. Система характеризуется как источник бесконечной мощности.
3. Для линий всех напряжений принимать  $X_0 = 0.4 \text{ Ом/ км}$ .

4. Для трансформаторов принимать: при ВН 330 кВ  $U_k=13,5\%$ , при U=230 кВ  $U_k=12\%$ , при U=115 кВ  $U_k=10,5\%$ , при U=37 кВ  $U_k=9\%$ .

**Таблица 1**

Вариант	Точ- ка К.З.	Л и н и и				Г е н е р а т о р ы					
		ℓ 1км	ℓ 2км	ℓ 3км	ℓ 4км	Г1, Г2					
						S <sub>н</sub> , МВА	X'' <sub>d</sub> , о.е.	U <sub>н</sub> , кВ	S <sub>н</sub> , МВА	X'' <sub>d</sub> , о.е.	U <sub>н</sub> , кВ
1	1	60	60	20	20	37.5	0.20	10.50	37.5	0.12	6.30
2	2	50	50	30	30	62.5	0.22	15.75	50.0	0.18	10.50
3	3	40	40	25	25	71.5	0.16	15.75	37.5	0.28	10.50
4	4	40	40	20	20	31.3	0.13	6.30	71.5	0.21	6.30
5	5	70	70	40	40	66.0	0.21	6.30	62.5	0.14	15.75
6	1	50	50	20	20	50.0	0.20	10.50	62.5	0.18	10.50
7	2	60	60	40	40	31.3	0.13	10.50	50.0	0.15	6.30
8	3	30	30	14	14	20.0	0.22	6.30	50.0	0.20	6.30
9	4	25	25	10	10	20.0	0.20	10.50	37.5	0.16	6.30
10	5	40	40	18	18	37.5	0.23	6.30	37.5	0.20	6.30

**Продолжение таблицы 1**

№№ вариантов	Т Р А Н С Ф О Р М А Т О Р ы												
	Т1, Т2			Т3, Т4			Т5						
	S <sub>н</sub> МВА	U <sub>в</sub> кВ	U <sub>н</sub> кВ	S МВА	U <sub>в</sub> ,кВ	U <sub>н</sub> , кВ	S <sub>н</sub> МВА	U <sub>в</sub> кВ	U <sub>с</sub> , кВ	U <sub>н</sub> , кВ	U <sub>к</sub> в-с %	U <sub>к</sub> в-н %	U <sub>к</sub> с-н %
1	40	121	37	60	35	10,00	120	37	10	6,30	8,0	16	7,0
2	60	220	110	60	110	15,75	160	110	37	10,00	12,5	20	6,5
3	120	220	110	80	110	15,75	180	115	35	11,00	10,5	32	28
4	120	220	35	80	37	6,00	240	35	10	6,00	10,5	32	28
5	60	220	121	80	121	6,00	120	117	37	15,75	12,5	20	6,5
6	80	330	220	60	220	10,50	120	220	121	10,00	12,5	20	6,5
7	80	330	121	60	118	10,00	120	121	35	6,00	10,5	32	28
8	60	121	37	60	37	6,30	160	35	10	6,30	10,5	32	28
9	60	121	35	40	35	10,00	120	35	10	6,00	10,5	32	28
10	80	115	35	40	37	6,00	160	37	11	6,30	10,5	18	6,3

Задача №2. В точке  $K_n$  схемы ( рис. 2. ) произошло трёхфазное КЗ. Требуется:

- а) Составить схему замещения и элементы в именованных и относительных единицах с точным и приближённым приведением элементов схемы замещения;
- б) преобразовать схему замещения относительно заданной точки КЗ ( $K_n$ );
- в) рассчитать начальный сверхпереходный ток короткого замыкания, полагая, что генераторы предварительно работали на холостом ходу с номинальным напряжением;
- г) оценить погрешность расчета (в процентах) при приближенном приведении элементов схемы замещения, сравнив результаты расчёта с результатами точного приведения.

Исходные данные приведены в таблице.

Примечания.

1. Расчёты по пунктам б,в,г по выполнить в именованных и относительных единицах.
2. Система характеризуется как источник бесконечной мощности.
3. Для линий всех напряжений принимать  $X_0=0.4$  Ом/км.
4. Для трансформаторов 1–3 принимать: при высшем напряжении (ВН) 330 кВ.  $U_k = 13,5\%$ , при ВН 230 кВ.  $U_k = 12\%$ , при ВН 115 кВ.  $U_k=10,5\%$ , при ВН 37 кВ.  $U_k = 9\%$ .

Задача № 3. Для условий схемы на рис. 3 требуется:

- а) составить схему замещения, выразив её элементы в именованных и относительных единицах с точным и приближённым приведением элементов схемы замещения;
- б) преобразовать схему замещения относительно заданной точки трёхфазного короткого замыкания ( $K_n$ );
- в) определить ударный ток при трёхфазном коротком замыкании в точке ;
- г) оценить погрешность расчёта ( в процентах ) при приближённом приведении элементов схемы замещения, сравнив результаты расчёта с результатами точного приведения.

Исходные данные приведены в таблице.

Примечания.

1. Расчёты по пунктам б, в, г, выполнить в именованных и относительных единицах.

2. Для линий всех напряжений принимать  $X_0 = 0.4 \text{ Ом/ км}$ .

№ В-та	Точка к.з	Линии $l_1, l_2, l_3$ км		Генераторы						Трансформаторы												
				Г1, Г2			Г3			Т1, Т2			Т3			АТ						
				Sн	X''d,о.е.	Ун,,	Sн	X''d,о.е.	Ун,,	Sн	Ув	Ун	Sн	Ув	Ун	Sн	Ув	Ус	Ун	Ук	Ук	Ук
				МВА		кВ	МВА		кВ	МВА	кВ	кВ	МВА	кВ	кВ	МВА	кВ	кВ	кВ	кВ	в-с, %	в-н, %
1	1	20	10	59,0	0,15	10,50	24,0	0,15	10,50	120	330	220	60	117	10,5	120	220	115	11,0	10,5	32,0	28,0
2	2	30	8	50,0	0,20	15,75	24,0	0,13	15,76	240	325	230	60	110	15,7	240	230	115	15,5	11,0	30,0	27,0
3	3	25	15	32,0	0,18	10,50	30,0	0,24	6,30	180	330	225	80	121	10,0	240	220	117	6,3	10,5	18,0	6,0
4	4	27	12	66,0	0,21	10,50	31,3	0,14	6,30	120	240	121	80	37	11,0	180	120	35	6,0	10,5	18,0	6,0
5	5	45	20	37,5	0,17	15,75	20,0	0,22	10,50	120	240	117	60	38	15,5	90	115	37	10,0	12,5	20,0	6,5
6	6	60	14	62,5	0,14	6,30	37,5	0,15	15,75	80	230	117	80	35	6,0	120	110	38	15,0	12,5	20,0	6,5
7	1	50	7	66,0	0,19	15,75	40,0	0,26	6,30	240	240	150	80	117	15,0	120	154	115	6,0	9,5	34,0	23,0
8	2	70	6	71,5	0,29	15,75	37,5	0,21	6,30	240	240	154	80	115	15,0	180	154	110	6,3	11,5	37,0	23,0
9	3	75	22	75,0	0,24	10,50	52,0	0,19	10,50	120	330	240	90	120	10,0	180	230	121	10,5	13,0	12,0	18,0
10	4	40	5	59,0	0,22	6,30	50,0	0,16	10,50	360	225	150	90	120	6,3	240	156	115	11,0	9,2	18,3	8,0
11	5	80	30	52,0	0,16	6,30	20,0	0,20	15,75	360	330	225	90	110	6,0	360	230	115	15,0	9,2	30,5	20,0
12	5	90	17	81,0	0,28	10,50	31,3	0,21	15,75	240	330	235	60	117	10,5	360	220	120	15,5	10,0	34,0	24,0

№ вар-та	Точка к.з	Линии				Генераторы						Система		Трансформатор							
		$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	Г1, Г2			Г3, Г4			$U_{кВ}$	$S_{кВА}$	Т1, Т2				Т3, Т4			
		километры.				Sн	X''d, о.е.	Ун,, кВ.	Sн	X''d, о.е.	Ун,, кВ.			Sн	Ув	Ун	Ук	Sн	Ув	Ун	Ук
		МВА	о.е.	кВ.	МВА	о.е.	кВ.	МВА	кВ	кВ	МВА	кВ	кВ	%	МВА	кВ	кВ	%			
1	1	20	40	10	30	59,0	0,15	15,75	24,0	0,13	10,5	115	2500	60	117	15,50	10,5	32	121	11,0	11,0
2	2	30	60	20	30	52,0	0,25	10,5	24,0	0,17	6,0	115	2000	60	121	11,00	10,5	32	115	6,3	11,0
3	3	25	50	25	40	118	0,18	10,0	31,3	0,18	10,0	230	4000	120	230	11,00	9,5	40	220	10,0	10,5
4	4	25	50	40	30	118	0,20	15,5	37,5	0,20	10,0	154	3000	120	150	15,75	9,5	40	155	10,5	9,5
5	5	10	20	8	12	72	0,23	10,0	30,0	0,24	15,5	154	3500	80	154	10,00	10,0	32	160	15,7	9,0
6	1	20	40	30	10	88	0,32	15,5	20,0	0,15	6,3	230	4500	80	240	15,75	9,0	25	230	6,0	10,0
7	2	30	50	25	15	130	0,20	16,0	37,5	0,29	10,0	340	5000	240	340	15,75	9,5	40	340	10,5	9,5
8	3	15	40	10	8	104	0,26	10,5	62,5	0,14	15,5	340	5000	240	330	11,00	10,0	60	340	15,7	9,0
9	4	40	30	25	20	100	0,22	10,5	59,0	0,17	6,3	230	2800	160	240	10,50	10,0	60	225	6,5	10,5
10	5	30	55	40	20	75	0,19	6,3	66,0	0,23	6,0	115	2200	80	117	6,00	11,0	60	117	6,0	11,0

## Задание на контрольную работу № 2.

Задача № 1. В точке К заданной схемы (рис. 4) произошло трёхфазное короткое замыкание.

Определить наибольшую и наименьшую величины периодической слагающей тока в месте короткого замыкания, а также тока, поступающего через автотрансформатор к месту К.З. Решение задачи выполнить, используя метод расчётных кривых.

### Примечания

1. Система С характеризуется как источник бесконечной мощности с неизменным напряжением 230 кВ.
2. Генераторы снабжены АРВ.
3. Рассмотреть варианты: выключатель «В» включён и выключен, короткое замыкание в точке К1 или К2.
4. Для линии принимать  $X_0 = 0.4 \text{ Ом/км}$ .

Исходные данные приведены в таблице.

№№ вар- иантов	Генераторы			Автотрансформаторы							Линия $l$ , км
	Т1, Т2			АТ1, АТ2							
	$S_n$ , МВА	$U_n$ , кВ	$X''_d$ , о.е.	$S_n$ , МВА	$U_n$ , кВ	$U_c$ , кВ	$U_n$ , кВ	$U_k$ в- с, %	$U_k$ в- н, %	$U_k$ с- н, %	
1	62,5	6,3	0,14	40	230	115	6,3	10	34	24	100
2	66,0	6,3	0,21	60	230	117	6,3	10	34	24	85
3	59,0	6,3	0,17	40	225	110	6,0	9	32	20	70
4	71,5	10,5	0,22	80	240	121	10,5	10	34	24	110
5	117,5	10,5	0,18	80	240	115	10,5	10	34	24	75
6	123,5	13,8	0,16	120	230	115	13,8	12	37	25	60
7	111,0	13,8	0,22	90	230	115	13,8	10	34	24	90
8	176,5	18,0	0,21	120	230	117	18,0	12	37	25	50
9	166,5	18,0	0,13	180	230	115	18,0	13	12	18	65
10	235,0	18,0	0,19	240	230	115	18,0	13	12	18	50



Задание № 2. В точке К заданной схемы (рис. 5) произошло трёхфазное короткое замыкание.

Определить наибольшую и наименьшую величины периодической слагающей тока в месте К.З., а также тока, поступающего к месту К.З. от обоих генераторов. Решение задачи выполнить, используя метод расчётных кривых.

Исходные данные приведены в таблице.

Примечания

1. Генераторы снабжены АРВ.
2. Система характеризуется как источник бесконечной мощности, либо конечной  $S = 5400$  , МВА.
3. Для линии принимать  $X_0 = 0.4$  Ом/км.
4. Рассмотреть варианты: отсутствует генератор Г1, мощности Г2 в 4 раза больше мощности генератора Г1, при тех же параметрах.

№№ вар иан тов	Генераторы			Трансформатор							Линия $l$ , км
	Г1, Г2			АТ							
	$S_H$	$U_H$	$X''_d$	$S_H$	$U_B$	$U_C$	$U_H$	$U_{кв-с}$	$U_{кв-н}$	$U_{кс-н}$	
1	66,0	10,5	0,19	120	154	115	10,5	12	12	16	145
2	71,5	13,8	0,23	120	154	115	13,8	12	12	16	200
3	75,0	15,7	0,22	120	154	115	15,7	12	12	16	150
4	11,5	13,8	0,18	240	230	115	13,8	13	12	18	160
5	123,5	13,8	0,20	240	240	121	13,8	12	12	16	175
6	166,5	18,0	0,16	360	230	115	18,0	12	12	16	140
7	111,0	6,3	0,15	240	121	35	6,3	10	34	24	120
8	130,0	10,5	0,14	120	115	37	10,5	10	34	24	80
9	166,5	10,5	0,23	240	230	115	10,5	10	34	24	70
10	235,0	18,0	0,22	480	115	37	18,0	12	37	25	50

Задача № 3. В конце линии заданной схемы (рис. 6) произошло короткое замыкание, вид которого для каждого варианта указан в таблице.

Определить ток несимметричного К.З. в момент времени  $t = 0.5$  с и составить комплексную схему замещения.

#### Примечания

1. Тип генераторов в вариантах 1-5 – гидро; в вариантах 6-10 – турбо. Генераторы снабжены АРВ.
2. Для трансформаторов принимать: при ВН 230 кВ  $U_k=14\%$ , при ВН 115кВ  $U_k=10.5\%$ .
3. Для одноцепной линии принимать  $X_0= 0.4$  Ом/км, для двухцепной  $X_0= 0.2$  Ом/км. (Двухцепная линия в чётных вариантах).
4. Рассмотреть следующие схемы соединения обмоток трансформаторов, генераторов, нагрузки: звезда с глухозаземленной нейтралью; треугольник.

№№ вари- антов	Вид К.З	Генератор			Трансформатор					Линия		Нагрузка S <sub>н</sub> , МВА
		S <sub>н</sub> , МВА	X'' <sub>d</sub> , о.е.	X <sub>2</sub> , о.е.	Т1		Т2			ℓ, км	$\frac{x_0}{x_1}$	
					S <sub>н</sub> , МВА	U <sub>в</sub> , кВ	S <sub>н</sub> , МВА	U <sub>в</sub> , кВ	U <sub>н</sub> , кВ			
1	(1)	264,7	0,19	0,27	120	115	90	115	10,5	50	3,5	75
2	1,1	264,7	0,24	0,27	240	230	180	230	10,5	60	4,0	140
3	1	103,5	0,20	0,26	90	115	90	115	6,3	40	3,3	60
4	1,1	103,5	0,22	0,26	90	230	120	230	10,5	70	4,5	100
5	1	127,8	0,18	0,22	120	115	120	115	10,5	90	5,0	85
6	1,1	127,8	0,19	0,22	90	115	60	115	6,3	35	3,2	45
7	1	117,5	0,14	0,17	120	115	90	115	10,5	45	3,4	60
8	1,1	166,5	0,13	0,15	180	230	120	230	10,5	95	5,5	110
9	1,1	235,0	0,20	0,24	240	230	120	230	10,5	95	5,1	90
10	1	235,0	0,22	0,25	180	115	60	115	6,3	50	3,5	50
11	1,1	236,0	0,20	0,28	240	230	180	230	10,5	85	4,2	120
12	1	166,5	0,18	0,23	120	115	90	115	6,3	75	4,8	70
13	1,1	117,5	0,16	0,20	120	230	90	230	10,5	60	4,0	100
14	1	81,0	0,28	0,30	90	115	60	115	6,3	50	3,3	80

Задача № 4. Определить на каком расстоянии  $\ell$  ( км ) от станции заданной схемы ( рис. 7 ) может произойти двухфазное короткое замыкание на линии, либо однофазном, при котором начальный и установившийся токи одинакова. Составить комплексную схему замещения.

Примечания

1. Генератор снабжён АРВ.
2. Для линий всех напряжений  $X_0 = 0.4$  Ом/км.
3. Исходные данные приведены в таблице. Генератор имеет заземлённую нейтраль, схема соединения обмотки трансформатора - звезда с глухозаземленной нейтралью; звезда с глухозаземленной нейтралью - треугольник

	Генератор					Трансформатор				Линия
	$S_n$ , МВА	$U_n$ , кВ	$x_d$ , о.е.	$x_d''$ , о.е.	$x_2$ , о.е.	$S_n$ , МВА	$U_v$ , кВ	$U_n$ , кВ	$U_k$ , %	$\frac{x_0}{x_1}$
1	30,0	6,3	1,60	0,24	0,25	40,5	37	6,3	8,0	3,7
2	37,5	6,3	2,10	0,19	0,15	40,5	115	6,3	10,5	3,6
3	60,0	10,5	1,80	0,20	0,15	120,0	115	10,5	10,5	3,5
4	66,0	10,5	1,70	0,20	0,22	120,0	230	10,5	9,5	3,2
5	81,0	6,3	2,00	0,19	0,17	120,0	115	6,3	9,5	3,3
6	117,0	13,8	1,51	0,28	0,22	180,0	230	13,8	11,8	3,3
7	130,0	13,8	1,40	0,25	0,22	180,0	154	13,8	10,5	3,5
8	166,5	13,8	1,65	0,24	0,22	180,0	230	13,8	10,5	3,2
9	166,5	18,0	1,24	0,18	0,16	240,0	230	18,0	12,0	3,3
10	235,5	18,0	1,26	0,17	0,16	360,0	230	18,0	20,0	3,5

### Задание контрольную работу № 3.

Задача № 1. Станция работает через электропередачу на шины системы неограниченной мощности. Схема системы показана на рис. 8, её параметры приведены в таблице.

Определить запасы статической устойчивости системы в следующих случаях.

а) при отсутствии АРВ; б) при АРВ пропорционального типа; в) при АРВ силового действия.

1. Для решения задач пользоваться упрощенными выражениями для угловых характеристик мощности при  $E'_q = const$ ; предварительно проработать пример 10.5, стр. 189 /2/. 2. Параметры схемы замещения определить в относительных единицах, пользуясь точным или приближённым приведением (по указанию руководителя).

3. Для линии всех напряжений принимать  $X_0 = 0.4$  Ом/км. В вариантах 1-10 напряжение ЛЭП равно 230 кВ, в вариантах 11-20 – 115кВ.

4. Для автотрансформатора принимать : в вариантах 1-10  $U_0( U_g ) = 500кВ$ ,  $U_n = 230кВ$ ,  $U_r = 14\%$  , в вариантах 11-20  $U_n = 115кВ$  ,  $U_n = 115кВ$ ,  $U_r = 13\%$ .

№№ вар	Генератор				Трансформатор				АТ	ЛЭП	Нагрузка	
	S <sub>н</sub> , МВА	U <sub>н</sub> , кВ	X <sub>d</sub> , о.е.	X' <sub>d</sub> о.е.	S <sub>н</sub> , МВА	U <sub>н</sub> , кВ	U <sub>в</sub> , кВ	U <sub>к</sub> %	S <sub>н</sub> , МВА	ℓ, км	P, МВт	cos φ
1	75,0	10,5	1,60	0,23	90	10,5	242	10	90	200	60	0,90
2	125,0	10,5	1,90	0,28	120	10,5	237	13	180	150	90	0,85
3	66,0	10,5	0,94	0,21	90	10,5	242	11	90	230	50	0,90
4	71,5	13,8	0,63	0,28	90	13,5	242	12	90	180	50	0,80
5	111,0	13,8	0,90	0,30	120	13,5	237	10	120	240	80	0,90
6	117,5	13,8	1,51	0,20	120	13,5	242	13	120	300	90	0,90
7	123,5	13,8	0,51	0,19	180	13,5	237	11	120	220	160	0,85
8	166,5	18,0	1,24	0,18	180	18,0	242	12	180	220	120	0,80
9	176,5	18,0	1,42	0,32	180	18,0	237	10	180	260	150	0,85
10	235,0	18,0	1,62	0,27	240	18,0	242	11	240	300	180	0,90
11	59,0	6,3	1,45	0,22	60	6,3	115	9	60	110	70	0,80
12	62,5	6,3	1,32	0,17	90	6,3	121	10	90	120	80	0,85
13	66,0	6,3	1,12	0,20	60	6,3	117	10	60	130	90	0,90
14	81,0	10,5	1,54	0,26	90	10,5	121	9	90	150	100	0,80
15	88,0	10,5	1,36	0,23	90	10,5	127	11	90	170	120	0,85
16	104,0	10,5	1,48	0,24	120	10,5	121	12	120	200	100	0,90
17	118,0	13,8	1,40	0,21	120	13,8	115	10	120	250	100	0,80
18	130,0	13,8	0,68	0,18	120	13,8	115	10	120	180	110	0,90
19	167,0	18,0	1,38	0,19	180	18,0	121	11	120	200	140	0,85
20	176,5	18,0	1,50	0,28	180	18,0	121	12	120	120	100	0,85

Задача № 2. В начале одной из линий электропередачи (точка К), произошло короткое замыкание. Вид К.З. задаётся преподавателем. Определить предельное время отключения короткого замыкания по условию динамической устойчивости, полагая, что постоянная инерции генератора равна 8 с. Схема системы и параметры те же, что и в задаче № 1.

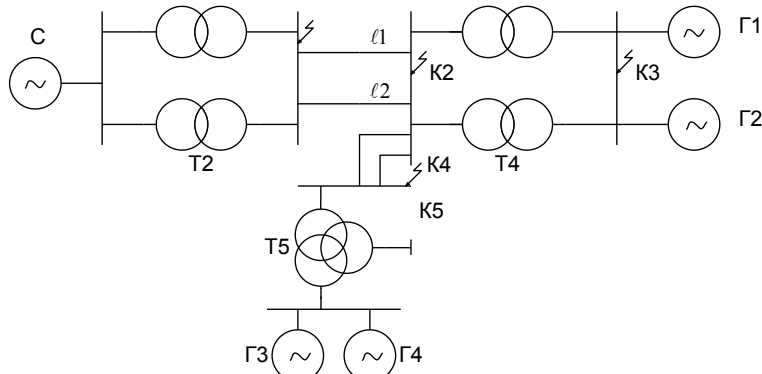


Рис. 1

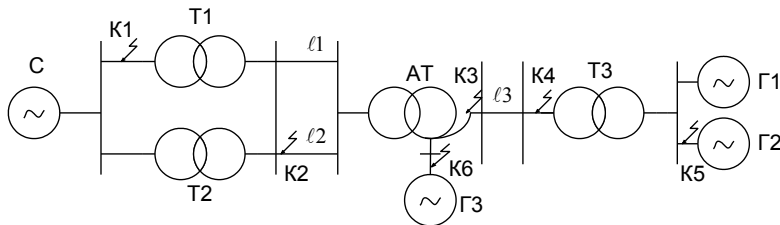


Рис. 2

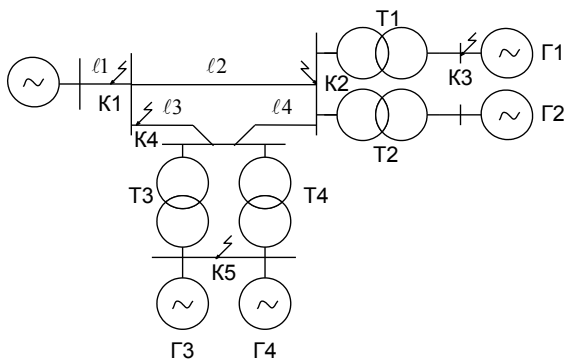


Рис. 3

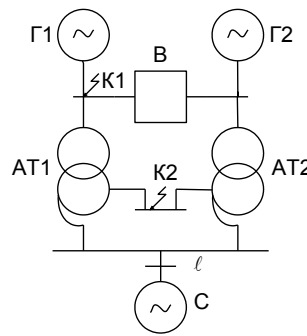


Рис. 4

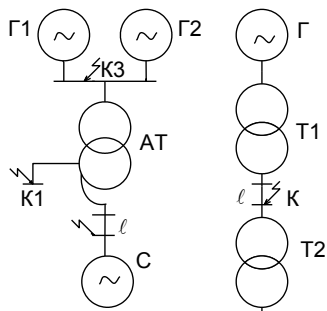


Рис. 5

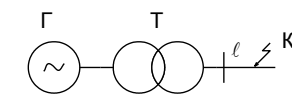


Рис. 6

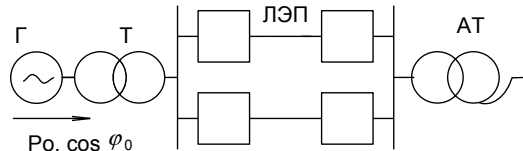
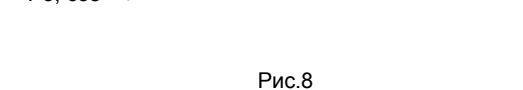


Рис. 7



## 7. Вопросы для самопроверки

### *При защите курсового проекта*

1. Расскажите об организации и методах проектирования энергетических объектов.
2. Расскажите о типах электрических станций и их особенностях.
3. Какими нормативными материалами пользуются проектировщики?
4. Расскажите о стадиях проектирования электрической станции.
5. Перечислите критерии, используемые для сравнения различных вариантов электроустановки.
6. Перечислите основные требования, предъявляемые к главным схемам электрических соединений станции.
7. Перечислите исходные данные, необходимые для выбора главной схемы.
8. Какую схему следует выбрать для подключения потребителей первой категории?
9. Изложите порядок выбора силовых трансформаторов.
10. В каких случаях применяются автотрансформаторы?
11. Каковы условия выбора и проверки высоковольтных выключателей и разъединителей?
12. В каких случаях используются секционные и линейные реакторы?
13. Изложите порядок выбора линейного реактора.
14. Изложите порядок выбора и проверки сборных шин генераторного напряжения
15. В каких случаях используются комплектные токопроводы?
16. Каковы условия и порядок выбора кабеля?
17. Изложите основные требования к компоновке и конструкции РУ.
18. В каких случаях сооружаются ЗРУ 35—220 кВ?
19. Перечислите факторы, определяющие тип и конструкцию РУ.
20. Объясните преимущества применения типовых и комплектных РУ.

21. Расскажите о принципах компоновки и конструкции кабельных сооружений, аккумуляторного блока.
22. Как выполняется защита оборудования от внешних и внутренних перенапряжений?
23. Изложите порядок проектирования заземления.
24. Изложите основные принципы организации управления на мощных тепловых станциях.
25. Перечислите факторы, определяющие структуру управления станцией.
26. Как производится выбор источников и схемы оперативного тока?
27. В каких случаях целесообразно использование переменного оперативного тока?
28. Как осуществляется дистанционное управление высоковольтными выключателями и блокировка от неправильных действий?
29. Изложите принципы проектирования измерительной подсистемы?
30. Как проектируются щиты управления?

## *Вопросы к экзамену*

1. Основные понятия об электромагнитных и электромеханических переходных процессах в электрической системе.
2. Основные виды коротких замыканий. Относительная вероятность их возникновения в электрических системах.
3. Какие виды нарушения режима относятся к продольной и поперечной несимметрии.
4. Основные допущения при расчете электромагнитных переходных процессов.
5. Преимущества и недостатки системы относительных единиц по сравнению с системой именованных единиц.
6. Приведение ЭДС и сопротивлений элементов схемы к выбранным базисным условиям.
7. Составление схемы замещения при расчете в относительных единицах. Точное и приближенное приведение.
8. Составление схемы замещения при расчете в именованных единицах. Точное и приближенное приведение.
9. Преобразование схем замещения.
10. Процесс трехфазного к.з. в неразветвленной цепи. Кривые изменения тока и ее слагающие.
11. Условия, определяющие максимальное значение апериодической составляющей тока.
12. Условия возникновения максимума мгновенного значения полного тока. Ударный ток и ударный коэффициент.
13. Определение эквивалентной постоянной времени апериодической составляющей тока в разветвленной цепи.
14. Действующие значения полных величин и их отдельных слагающих. Основные упрощения.



15. Определение установившегося режима к.з. Основные характеристики и параметры синхронной машины.
16. Схема замещения неявнополюсной синхронной машины в установившемся режиме.
17. Векторные диаграммы неявнополюсных и явнополюсных синхронных машин.
18. Приведение цепи ротора к статору.
19. Как учитывается в расчетах влияние нагрузки на режим к.з.
20. Расчет при отсутствии автоматического регулирования возбуждения (АРВ). Влияние АРВ.
21. Баланс магнитных потоков синхронной машины в нормальном установившемся режиме и в момент возникновения к.з.
22. Переходные ЭДС и сопротивление. Схема замещения СМ без демпферных контуров в начальный момент внезапного нарушения режима. Векторная диаграмма.
23. Сверхпереходные ЭДС и сопротивление. Схема замещения СМ с демпферными обмотками в начальный момент нарушения режима в осях  $d$  и  $q$ . Векторная диаграмма.
24. Сравнение реактивностей синхронной машины.
25. Характеристика двигателей и нагрузки.
26. Практический расчет начального сверхпереходного и ударного токов при к.з., несинхронном включении генераторов, пуске двигателей.
27. Внезапное к.з. СМ без демпферных обмоток.
28. Влияние и приближенный учет демпферных обмоток.
29. Влияние АРВ при внезапном к.з.
30. Основные допущения при практических методах расчета к.з.
31. Различия между практическими методами.
32. Метод расчетных и типовых кривых. Порядок расчета по общему изменению.

33. Порядок расчета по индивидуальному изменению. Приближенный учет системы.
34. Учет электродвигателей при расчете токов к.з.
35. Расчет токов к.з. в сетях до 1000 В.
36. Высшие гармоники при несимметричном режиме синхронной машины.
37. Метод симметричных составляющих при расчете токов к.з.
38. Сопротивления элементов схемы для токов обратной и нулевой последовательности.
39. Схемы отдельных последовательностей, определение результирующих ЭДС и сопротивлений.
40. Граничные условия, соотношения между симметричными составляющими токов и напряжений в месте поперечной несимметрии.
41. Векторные диаграммы токов и напряжений для места несимметрии.
42. Комплексные схемы замещения для различных видов поперечной несимметрии.
43. Правило эквивалентности прямой последовательности для поперечной несимметрии.
44. Сравнение видов короткого замыкания.
45. Применение практических методов к расчету переходного процесса при однократной поперечной несимметрии.
46. Однократная продольная несимметрия.
47. Граничные условия, соотношения между симметричными составляющими токов при продольной несимметрии.
48. Векторные диаграммы токов в месте разрыва чисто индуктивной цепи, комплексные схемы замещения.
49. Способы и технические средства ограничения токов к.з.
50. Координация уровней токов к.з.

### *Вопросы к коллоквиуму №1*

1. Чем вызываются ПП? Система и близкое КЗ
2. Относительное значение величин. Как выбираются базисные условия
3. Понятие приближенного и точного приведения
4. Действия при наличии симметрии в схеме при расчете КЗ
5. Что такое КЗ? Назначения расчетов КЗ
6. Замена трехлучевой  $Y$  на двухлучевую,  $Y$  с  $n$  лучами на  $Y$  с  $n-1$  лучом
7. Для чего используется система ОЕ. Шкала средних напряжений
8. Основные допущения при расчете КЗ
9. Относительное значение величин  $E$ ,  $U$ ,  $I$ ,  $Z$ ,  $S$  и их приведенные значения
10. Рассечение ветвей в узле с ЭДС. Принцип составления схемы замещения
11. Базисные величины выбираются для всех ступеней напряжения или нет?
12. Как проводится расчет КЗ при наличии в схеме Системы и Генераторов
13. Металлическое КЗ. Самоустраняющиеся КЗ
14. Наиболее опасные последствия КЗ. Результат сворачивания схемы замещения
15. Когда можно объединять между собой генерирующие источники
16. Как приводятся  $E, U, I, Z$  к основной ступени при точном приведении в ОЕ
17. Переходное сопротивление КЗ, его составляющие
18. Для чего применяется АПВ. Что называется расчетом ЭМПП
19. Приближенное приведение  $E, U, I, Z$  к основной ступени в ИЕ
20. Преобразование  $Y$  с лучами, содержащими ЭДС
21. Сопротивление генератора, ВЛ и КЛ, трансформатора, реактора при точном приведении в ОЕ. Система и удаленное КЗ.
22. Сложное КЗ. Основная причина ЭМПП
23. Необходимость точного и приближенного учета расчетных условий
24. Как приводятся  $E, U, I, Z$  к основной ступени при точном приведении в ИЕ
25. Использование замены нагрузочных ветвей генерирующими ветвями с  $E=0$
26. Сопротивление генератора, ВЛ и КЛ, трансформатора, реактора при приближенном приведении в ОЕ. Понятие точного приведения
27. Виды КЗ. Преднамеренное КЗ. Преобразование  $\Delta$  в  $Y$

28. Понятие расчетных условий. Преобразование  $Y$  в  $\Delta$
29. Как приводятся  $E, U, I, Z$  к основной ступени при приближенном приведении в ОЕ. Рассечение схемы в узле с точкой КЗ
30. Сопротивление генератора, ВЛ и КЛ, трансформатора, реактора при точном приведении в ИЕ. Понятие ударного коэффициента
31. Вероятность возникновения КЗ. Последствия КЗ
32. Расчетные условия при выборе выключателей. Мощность КЗ
33. Что понимается под коэффициентом трансформации при приведении элементов. Симметричные и несимметричные КЗ
34. Сопротивление генератора, ВЛ и КЛ, трансформатора, реактора при приближенном приведении в ИЕ. Использование таблицы значений  $x/r$
35. Расчетные условия при выборе средств РЗ и А
36. Сопротивления двухобмоточного и трехобмоточного трансформатора, автотрансформатора
37. Принцип наложения собственно аварийного режима на предшествующий
38. Применение собственных и взаимных проводимостей
39. Практические методы расчета ЭМПП. Общие замечания
40. Допущения для практических методов расчета
41. Ошибки практических методов расчета
42. Влияние нагрузки на ток к.з. Ударный ток к.з.
43. Приближенный учет системы. Система бесконечной мощности
44. Расчет для выбора выключателя по отключающей способности
45. Метод типовых кривых
46. Метод расчетных кривых

## *Вопросы к коллоквиуму №2*

1. Оборванный провод ЛЭП лежит на земле – вид несимметрии и ее причины
2. К чему приводит ток КЗ. Путь тока при простом КЗ
3. Простое замыкание. Двойное замыкание на землю
4. Продольная, поперечная и сложная несимметрия
5. Основные положения в несимметричных ЭМПП
6. Синхронные машины.  $x_2$  и  $x_0$
7. Кабели, реакторы, ВЛ.  $x_2$  и  $x_0$
8. Трансформаторы.  $x_2$  и  $x_0$
9. Обобщенная нагрузка.  $x_2$  и  $x_0$ . Учет сопротивления заземления нейтрали
10. Схемы прямой и обратной последовательности
11. Схемы нулевой последовательности
12. Начало и конец схемы последовательности
13. Результирующая ЭДС и сопротивление продольной и поперечной несимметрии
14. Однократная поперечная несимметрия
15. Двухфазное к.з.
16. Двухфазное к.з. на землю
17. Векторные диаграммы для различных видов несимметричных к.з.
18. Учет переходного сопротивления в месте к.з.
19. Правило эквивалентирования прямой последовательности
20. Комплексные схемы замещения
21. Практические методы расчета при однократной поперечной несимметрии
22. Однократная продольная несимметрия

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Короткие замыкания и несимметричные режимы электроустановок [Текст] : учеб. пособие / И. П. Крючков [и др.]. - 2-е изд., стер. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2011. - 472 с.
2. Переходные процессы в электроэнергетических системах [Текст] : учеб. пособие : доп. Мин. обр. РФ / И. П. Крючков [и др.] ; под ред. И. П. Крючкова. - 2-е изд., стер. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2009. - 415 с. - Библиогр. : с. 397.
3. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования [Текст] : учеб. пособие: рек. Мин. обр. РФ / под ред. И. П. Крючкова, В. А. Старшинова. - М. : Академия, 2005,2006 - 412 с. : рис. - (Высшее проф. образование. Энергетика). - Библиогр.: с. 406 .
4. Буре, И. Г. Расчет параметров систем промышленного электроснабжения в переходных режимах [Текст] : учеб. пособие / И. Г. Буре, Л. С. Родина . - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2005. - 32 с. : рис. - Библиогр.: с. 30.
5. Куликов, Ю. А. Переходные процессы в электрических системах [Текст] : учеб. пособие: Рек. Мин. обр. РФ / Ю.А. Куликов. - Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та ; М. : Мир : АСТ, 2002,2003 - 284 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 265-266.
6. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования [Текст] : учеб. пособие для вузов: Рек. Мин. обр. РФ / Под ред. О.Д. Гольдберга. - М. : Высш. шк., 2001. - 512 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 512.
7. Мясоедов, Ю. В. Расчет симметричных и несимметричных коротких замыканий в системах электроснабжения [Текст] : учеб.-метод. пособие / Ю. В. Мясоедов, Л. Б. Гоголева ; АмГУ. Эн.Ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2002. - 64 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

**Мясоедов Юрий Викторович,**

профессор кафедры энергетики АмГУ, канд. техн. наук,

**Мясоедова Лариса Анатольевна,**

старший преподаватель кафедры энергетики АмГУ,

**Подгурская Ирина Геннадьевна,**

старший преподаватель кафедры энергетики АмГУ.

**Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических  
системах**

*Методические указания к самостоятельной работе.*

---

Издательство АмГУ. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 5,56. Заказ 615