



Федеральное агентство по рыболовству
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Директор института

Фонд оценочных средств
(приложение к рабочей программе модуля)
**«ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ»**

основной профессиональной образовательной программы бакалавриата
по направлению подготовки

13.03.02 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ИНСТИТУТ

морских технологий, энергетики и строительства

РАЗРАБОТЧИК

кафедра энергетики

РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ, ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

1.1 Результаты освоения дисциплины

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенций

| Код и наименование компетенции | Дисциплина | Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями |
|---|---|---|
| <p>ПК-1 Способен выполнять работы по обеспечению полного цикла или отдельных стадий эксплуатации и требуемых технологических режимов работы электроустановок и электротехнического оборудования</p> | <p>Переходные процессы в электроэнергетических системах</p> | <p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - основы электротехники и теории электромагнитных переходных процессов; - технические требования, предъявляемые к электроэнергии и возможные причины их нарушения при протекании переходных процессов; - методы расчета электромагнитных переходных процессов; - технические данные электротехнического оборудования и особенности протекания электромагнитных переходных процессов в синхронных генераторах, трансформаторах, линиях и других элементах энергосистем; - методы и алгоритмы расчета токов короткого замыкания в разветвленных высоковольтных сетях, в распределительных сетях и системах электроснабжения; <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - составлять расчетные схемы и соответствующие схемы замещения и определять параметры элементов этих схем; - определять состав и последовательность необходимых действий при выполнении работ по расчету токов короткого замыкания с использованием цифровых технологий; - строить векторные диаграммы, кривые изменения токов короткого замыкания и эпюры напряжений; - анализировать информацию, формировать представление о ситуации и определять допустимость различных видов возмущений с точки зрения их воздействия на конкретные типы электрических машин и узлы нагрузок; - разрабатывать мероприятия и выбирать способы для обеспечения необходимого |

| Код и наименование компетенции | Дисциплина | Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями |
|--------------------------------|------------|--|
| | | качества переходного процесса, устойчивости и экономичной работы электромеханического оборудования; <u>Владеть:</u> - навыками расчетов переходных процессов при трехфазных и несимметричных коротких замыканиях, а также при обрывах фаз; - навыками прогнозирования возможных вариантов развития ситуации при анализе протекания электромагнитных переходных процессов. |

1.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания открытого и закрытого типов;
- задания к расчетно-графической работе.

Промежуточная аттестация в форме дифференцированного зачета (зачета с оценкой) проходит по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации относятся:

- экзаменационные задания по дисциплине, представленные в виде тестовых заданий открытого и закрытого типов.

1.3 Критерии оценки результатов освоения дисциплины

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) 100 – балльную/процентную систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (табл. 2).

Таблица 2 – Система оценок и критерии выставления оценки

| Система оценок Критерий | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--|---|---|---|
| | 0-40% | 41-60% | 61-80 % | 81-100 % |
| | «неудовлетворительно» | «удовлетворительно» | «хорошо» | «отлично» |
| 1 Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов | Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может корректно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой) | Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект | Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект | Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект |

| Система оценок Критерий | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--|--|--|---|
| | 0-40% | 41-60% | 61-80 % | 81-100 % |
| | «неудовлетворительно» | «удовлетворительно» | «хорошо» | «отлично» |
| 2 Работа с информацией | Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи | Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи | Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи | Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи |
| 3 Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта | Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений | В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации | В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные | В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи |
| 4 Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач | В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки | В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом | В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма | Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи |

2 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Тестовые задания открытого типа

1. Переходный процесс, характеризующийся изменением значений только электромагнитных величин электроустановки, называется _____

Ответ: электромагнитный переходный процесс

2. Переходный процесс, характеризующийся одновременным изменением значений электромагнитных и механических величин, определяющих состояние электроустановки, называется _____

Ответ: электромеханический переходный процесс

3. Устойчивость электроэнергетической системы — это _____

Ответ: способность электрической системы восстанавливать исходное или практически близкое к нему состояние (режим) после возмущения, проявляющегося в отклонении значений параметров режима электрической системы от начальных значений

4. Угловая характеристика активной мощности синхронной машины (СМ) — это _____

Ответ: зависимость мощности СМ от угла нагрузки между векторами ЭДС \dot{E} и напряжения \dot{U} машины, где $\dot{E} = const$, $\dot{U} = const$.

5. Случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы электрическое соединение различных фаз с землей в электроустановке с глухозаземленной или эффективно-заземленной нейтралью, а также фаз, витков одной фазы или полюсов электроустановки постоянного тока между собой; фаз с нулевыми или защитным проводом, согласно ГОСТ 26522—2023, называется _____

Ответ: короткое замыкание

6. Простым замыканием в электрической системе называют _____

Ответ: замыкание одной из фаз на землю в системах с незаземленными нейтралью или с нейтралью, заземленными через специальные компенсирующие устройства.

7. Режим, при котором значения параметров режима остаются неизменными или изменяются медленно и нерегулярно, в пределах, соответствующих нормальной работе элементов системы с оптимальными технико-экономическими характеристиками – это _____

Ответ: нормальный установившийся режим работы

8. Режим, наступающий после аварийного отключения одного или нескольких элементов энергосистемы, после нарушения устойчивости работы последней из-за перегрузки с последующей ресинхронизацией – это _____

Ответ: послеаварийный установившийся режим работы

9. Переходный режим работы электроэнергетических систем – это _____

Ответ: режим, который имеет место при переходе от одного установившегося режима к другому и характеризуется относительно быстрым и резким изменением параметров режима.

10. Глубокое снижение напряжения на 30—40% в течение 1 сек и более, которое возникает при коротких замыканиях в электрической системе и образовании продольной несимметрии, достаточно, чтобы _____

Ответ: загруженные двигатели промышленного предприятия могут остановиться.

11. При коротких замыканиях на землю в электрической системе возникают _____

Ответ: неуравновешенные системы токов.

12. При расчете электромагнитного переходного процесса в современной электрической системе под относительным значением какой-либо величины следует понимать _____

Ответ: ее отношение к другой одноименной величине, выбранной за единицу измерения.

13. При расчете электромагнитного переходного процесса в современной электрической системе базисная мощность трехфазной системы определяется согласно выражению _____

Ответ: $S_6 = \sqrt{3}U_6I_6$

14. При расчете электромагнитного переходного процесса в современной электрической системе базисная мощность трехфазной системы определяется согласно выражению

Ответ: $z_6 = \frac{U_6}{\sqrt{3}I_6}$

15. Отключающую способность выключателя при номинальном его напряжении U_n характеризуют номинальным отключаемым током $I_{от.н}$ или пропорциональной ему номинальной отключаемой мощностью определяется согласно выражению

Ответ: $S_{от.н} = \sqrt{3}U_nI_{от.н}$

16. Когда проверка выключателя производится по отключаемой мощности, последняя должна быть сопоставлена с мощностью короткого замыкания, которая независимо от вида короткого замыкания определяется как _____

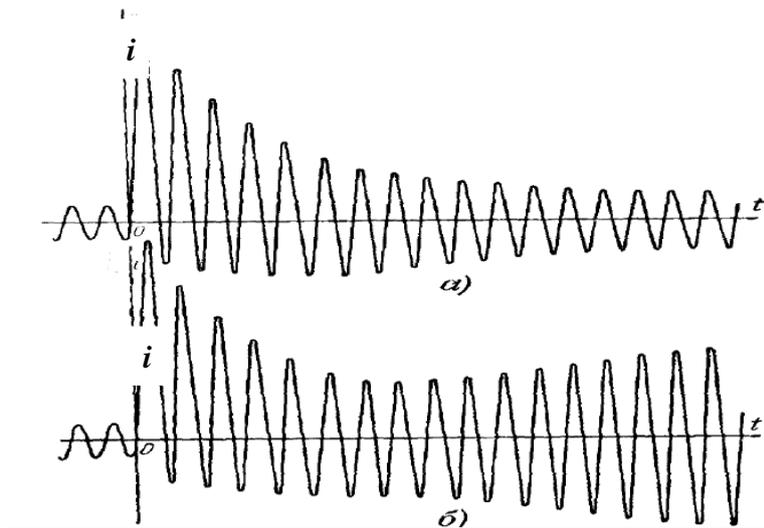
Ответ: $S_{кт} = \sqrt{3}U_nI_{кт}$, где $I_{кт}$ - ток короткого замыкания, в момент t размыкания контактов выключателя; U_n - номинальное напряжение ступени, для которой найден ток короткого замыкания.

17. В практических расчетах максимальное мгновенное значение полного тока короткого замыкания, которая определяется при наибольшем значении апериодической слагающей и наступает приблизительно через полпериода, что при $f = 50$ Гц составляет около 0,01 сек с возникновения короткого замыкания, называют _____

Ответ: ударным током короткого замыкания

18. На рисунке изображены типичные осциллограммы токов i при внезапном коротком замыкании.

Возникают токи, характерные согласно иллюстрациям осциллограмм а) и б), в различных режимах работы устройства в синхронном генераторе



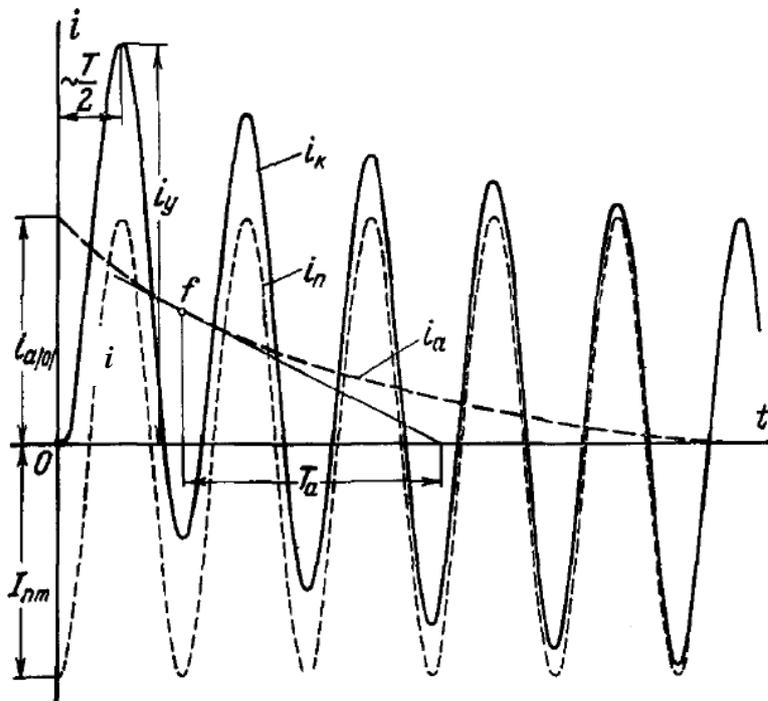
Ответ:

а) - токи при внезапном коротком замыкании при отсутствии автоматического регулирования возбуждения синхронного генератора;

б) - токи при внезапном коротком замыкании при наличии автоматического регулирования возбуждения синхронного генератора.

19. На рисунке изображена осциллограмма тока короткого замыкания при наибольшей апериодической слагающей и ее составляющие.

Составляющие тока (i_y, i_n, i_a) и токи $i_{a(0)}$, I_{nm} - это



Ответ: i_y - ударный ток короткого замыкания;

i_n - периодическую слагающую тока или принужденный ток с постоянно амплитудой;

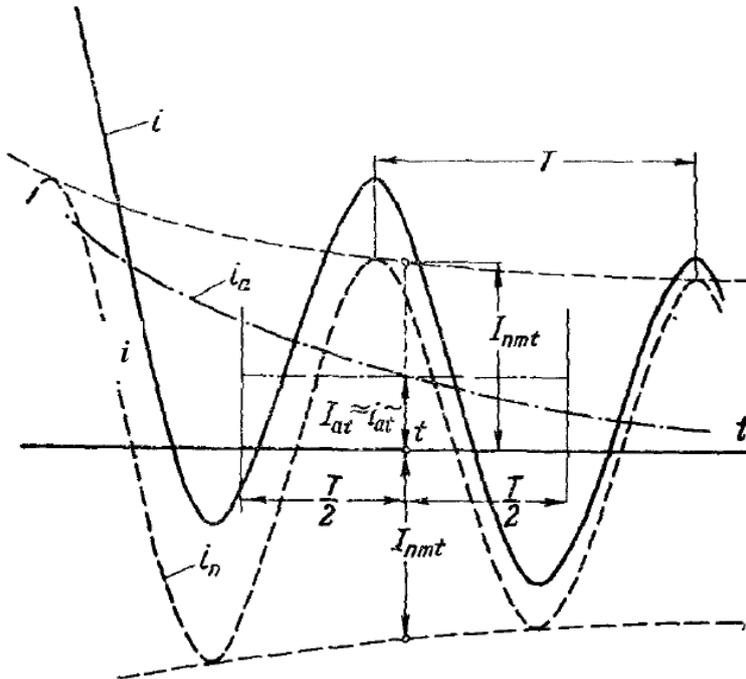
i_a - затухающий по экспоненте свободный ток; его называют также аperiodической слагающей тока;

$i_a(0)$ - начальное значение аperiodической слагающей тока;

I_{nm} - амплитуда принужденного тока.

20. На рисунке изображено графическое определение действующего значения тока при переходном процессе.

Выражение для определения действующего значения тока в момент t согласно приведенному рисунку имеет вид:

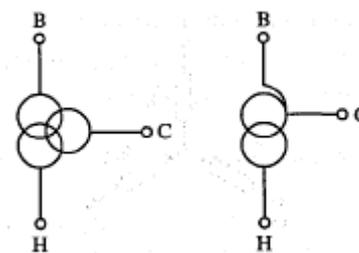


Ответ:

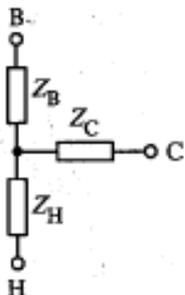
$$I_t = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} i^2 dt}$$

21. На рисунке представлены схемы трансформаторов (автотрансформаторов).

Схема замещения трансформаторов (автотрансформаторов) для расчета токов короткого замыкания и различных режимов в электроэнергетических системах, в которых электромагнитная связь между отдельными обмотками заменена электрической, имеет вид

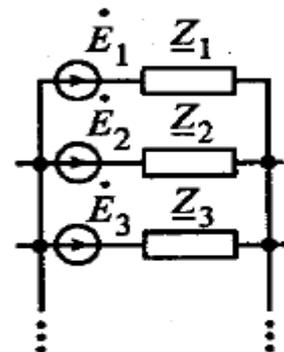


Ответ:

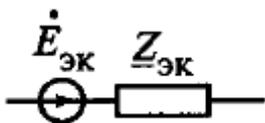


22. На рисунке представлена схема замещения прямой последовательности (из источников ЭДС и сопротивлений) при аналитических расчетах коротких замыканий и других режимов электроэнергетических систем соединения.

Эквивалентная схема замещения, вид преобразования и эквивалентные параметры преобразованной схемы имеют вид:



Ответ: 1. Эквивалентная схема замещения, преобразованная путем заменой нескольких источников одним эквивалентным.

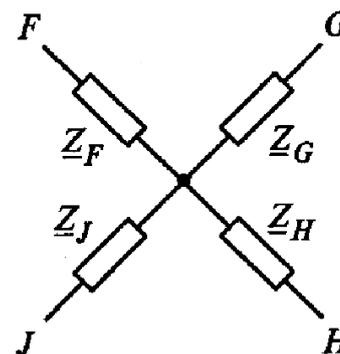


1. Параметры преобразованной схемы:

$$\dot{E}_{эк} = \frac{1}{Y_{экk=1}^n} \sum_{k=1}^n Y_k \dot{E}_k$$

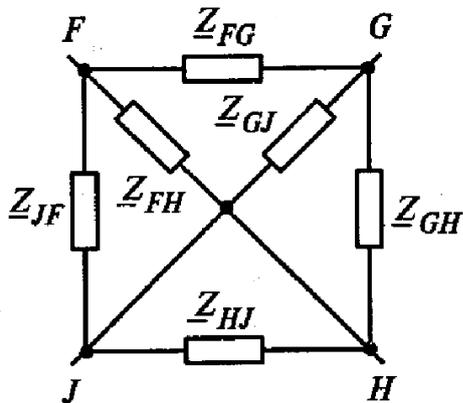
22. На рисунке представлена схема замещения прямой последовательности (из сопротивлений) при аналитических расчетах коротких замыканий и других режимов электроэнергетических систем соединения.

Эквивалентная схема замещения, вид преобразования и эквивалентные параметры преобразованной схемы имеют вид:



Ответ:

1. Эквивалентная схема замещения, преобразованная из многолучевой звезды в полный многоугольник.



2. Параметры преобразованной схемы:

$$Z_{FG} = Z_F Z_G \sum \underline{Y},$$

$$Z_{GH} = Z_G Z_H \sum \underline{Y},$$

.....

где $\sum \underline{Y} = \underline{Y}_F + \underline{Y}_G + \underline{Y}_H + \underline{Y}_J$.

23. Согласно принятым допущениям о том, что все дополнительные по отношению к обмотке возбуждения контуры ротора по каждой оси синхронной машины заменяются одним эквивалентным демпферным контуром.

Шесть уравнений напряжений (шести контуров — три контура фаз, контур возбуждения, продольный демпферный контур и поперечный демпферный контур) и одно уравнение моментов синхронной машины, которые используются при исследовании переходных процессов имеют вид

Ответ: Дифференциальные уравнения напряжений в контурах синхронной машины

$$\left. \begin{aligned} u_A &= -\frac{d\Psi_A}{dt} - Ri_A; \\ u_B &= -\frac{d\Psi_B}{dt} - Ri_B; \\ u_C &= -\frac{d\Psi_C}{dt} - Ri_C; \\ u_f &= \frac{d\Psi_f}{dt} + R_f i_f; \\ 0 &= \frac{d\Psi_{1d}}{dt} + R_{1d} i_{1d}; \\ 0 &= \frac{d\Psi_{1q}}{dt} + R_{1q} i_{1q}. \end{aligned} \right\}$$

имеют вид:

где R, R_f, R_{1d}, R_{1q} - активные сопротивления соответственно фазных обмоток якоря, обмотки возбуждения, продольного и поперечного демпферных контуров;

Дифференциальное уравнение моментов, действующих на ротор синхронной машины, имеет вид:

$$M_{\text{мх}} + M_{\text{эм}} = J \frac{d\omega}{dt},$$

$M_{\text{мх}}$ - момент механических сил; $M_{\text{эм}}$ — момент электромагнитных сил (электромагнитный момент), обусловленный взаимодействием магнитного потока от токов обмоток якоря и магнитного потока от токов в контурах ротора; J — момент инерции агрегата; ω — угловая скорость вращения ротора.

24. Переходные процессы в синхронных машинах, при которых сохраняется симметрия фаз, целесообразно исследовать в системе координат, вращающихся вместе с ротором. Такую систему координат называют

Ответ: системой d, q, θ , так как ось x совмещают с продольной осью ротора

25. Переходные процессы в асинхронных машинах, а также несимметричные режимы синхронных машин удобно исследовать в системе координат, неподвижной в пространстве; такую систему координат называют

Ответ: системой α, β . При этом ось α совмещают с магнитной осью фазы A электрической машины.

26. При анализе электромагнитных переходных процессов в синхронных машинах обычно пренебрегают изменением ее угловой скорости вращения, т.е. считают скольжение равным нулю. При этом переходные процессы описываются в осях d и q уравнением Горева-Парка вида: _____

—
Ответ:

$$\left. \begin{aligned} u_d &= -\frac{d\Psi_d}{d\tau} - \Psi_q - Ri_d; \\ u_q &= \Psi_d - \frac{d\Psi_q}{d\tau} - Ri_q; \\ u_f &= \frac{d\Psi_f}{d\tau} + R_f i_f; \\ 0 &= \frac{d\Psi_{1d}}{d\tau} + R_{1d} i_{1d}; \\ 0 &= \frac{d\Psi_{1q}}{d\tau} + R_{1q} i_{1q}. \end{aligned} \right\}$$

27. Способность системы восстанавливать исходный режим после малого его возмущения или режим, весьма близкий к исходному (если возмущающее воздействие не снято) называется:

—
Ответ: Статической устойчивостью

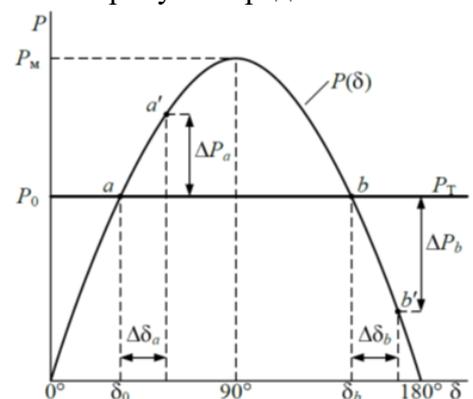
28. Способность системы восстанавливать исходное состояние, или близкое к исходному, после действия больших возмущений называется: _____

Ответ: динамической устойчивостью.

29. Формулой вида $J_0 \frac{d\omega}{dt} = \Delta M$ описывается

—
Ответ: уравнение движения ротора.

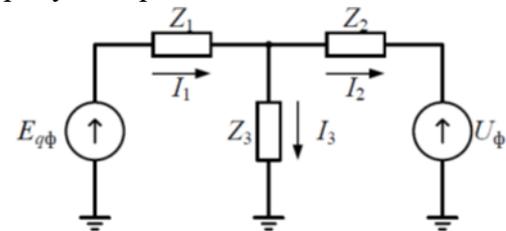
30. На рисунке представлена:



—
Ответ: угловая характеристика генератора.

Тестовые задания закрытого типа

31. На рисунке представлена:

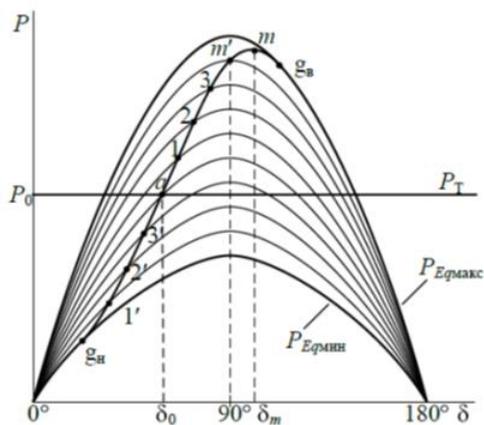


1. Т-образная схема замещения трансформатора
- 2. Т-образная эквивалентная схема одномашиной энергосистемы**
3. П-образная эквивалентная схема одномашиной энергосистемы
4. П-образная схема замещения высоковольтного двигателя

32. Метод исследования статической устойчивости энергосистем, опирающийся на линеаризацию «в малом», называется

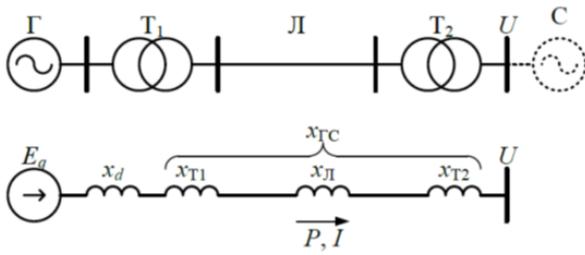
1. Методом малой мощности
- 2. Методом малых колебаний**
4. Методом малой устойчивости
3. Методом малых отрезков

33. На рисунке представлена:



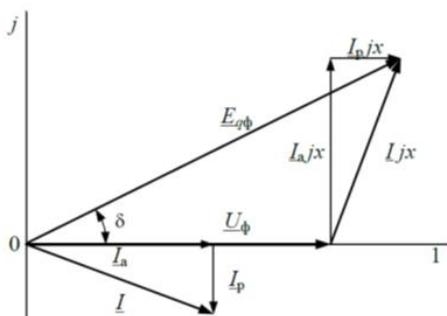
- 1. Внешняя угловая характеристика регулируемого генератора**
2. Внутренняя угловая характеристика синхронного двигателя
3. Взаимная угловая характеристика двух генераторов
4. Относительная угловая характеристика генератора

34. На рисунке представлена:



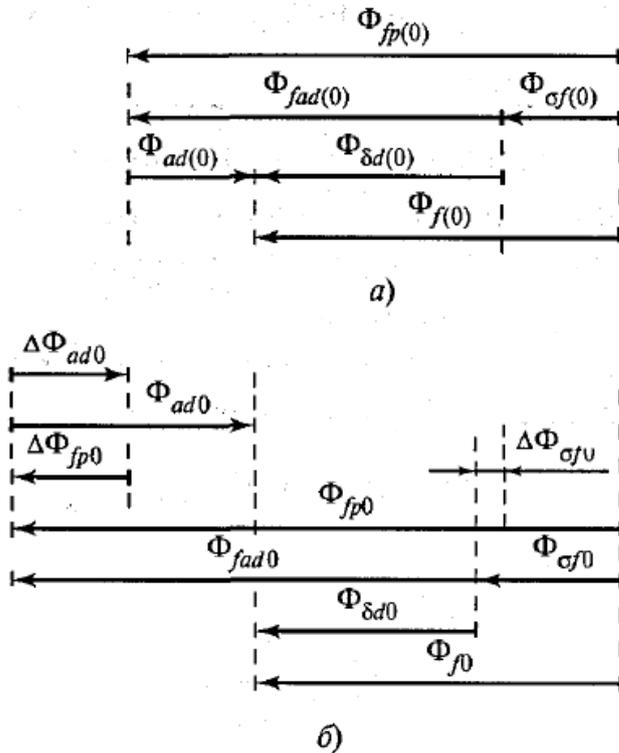
1. Динамическая модель нагрузки
2. Статическая модель нагрузки
- 3. Одномашинная модель энергосистемы**
4. Двухмашинная модель энергосистемы

35. На рисунке представлена:



1. Векторная диаграмма параметров режима генератора
2. Векторная диаграмма параметров режима нагрузки
- 3. Векторная диаграмма параметров режима одномашинной энергосистемы**
4. Векторная диаграмма параметров режима двухмашинной энергосистемы

36. На рисунке представлена:



1. Сумма магнитных потоков по продольной оси ротора:
а — в момент короткого замыкания «(0)»;

б — после короткого замыкания «0».

2. Сумма магнитных потоков по поперечной оси ротора:

а — до короткого замыкания «(0)»;

б — в начальный момент короткого замыкания «0».

3. Баланс магнитных потоков по продольной оси ротора:

а — до короткого замыкания «(0)»;

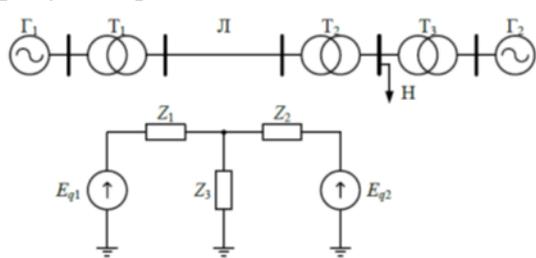
б — в начальный момент короткого замыкания «0».

4. Баланс магнитных потоков по продольной оси ротора:

а — в момент короткого замыкания «(0)»;

б — после короткого замыкания «0».

37. На рисунке представлена:



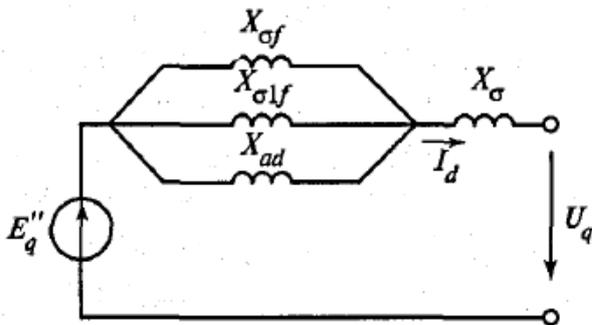
1. Устойчивая энергосистема

2. Неустойчивая энергосистема

3. Двухмашинная энергосистема

4. Нагруженная энергосистема

38. На рисунке представлена схема замещения синхронной машины:



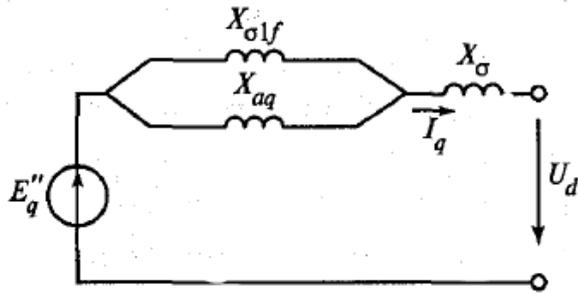
1. С демпферными контурами по поперечной оси.

2. С демпферными контурами по продольной оси.

3. Без демпферных контуров.

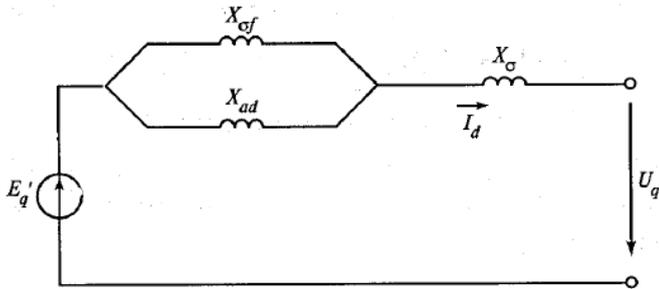
4. Без демпферных контуров по продольной оси.

39. На рисунке представлена схема замещения синхронной машины:



1. С демпферными контурами по поперечной оси.
2. С демпферными контурами по продольной оси.
3. Без демпферных контуров по поперечной оси.
4. Без демпферных контуров.

40. На рисунке представлена схема замещения синхронной машины:



1. С демпферными контурами по поперечной оси;
2. С демпферными контурами по продольной оси;
3. **Без демпферных контуров.**
4. Без демпферных контуров поперечной оси.

3 ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

3.1 Учебным планом предусмотрено выполнение расчетно-графической работы для студентов очной и заочной формы обучения.

Расчетно-графическая работа включает следующие задачи:

Задача 1. Составить схему замещения и определить ее параметры для расчетной схемы;

Задача 2. Упростить схему замещения при коротком замыкании (КЗ) в заданной точке;

Задача 3. Определить величину установившегося тока при трехфазном КЗ в заданной точке для расчетной схемы;

Задача 4. Определить сверхпереходный и ударный ток КЗ в точке К2.

Типовое задание задачи 1:

Составить схему замещения и определить ее параметры для расчетной схемы, изображенной на рис. 3.1.1.

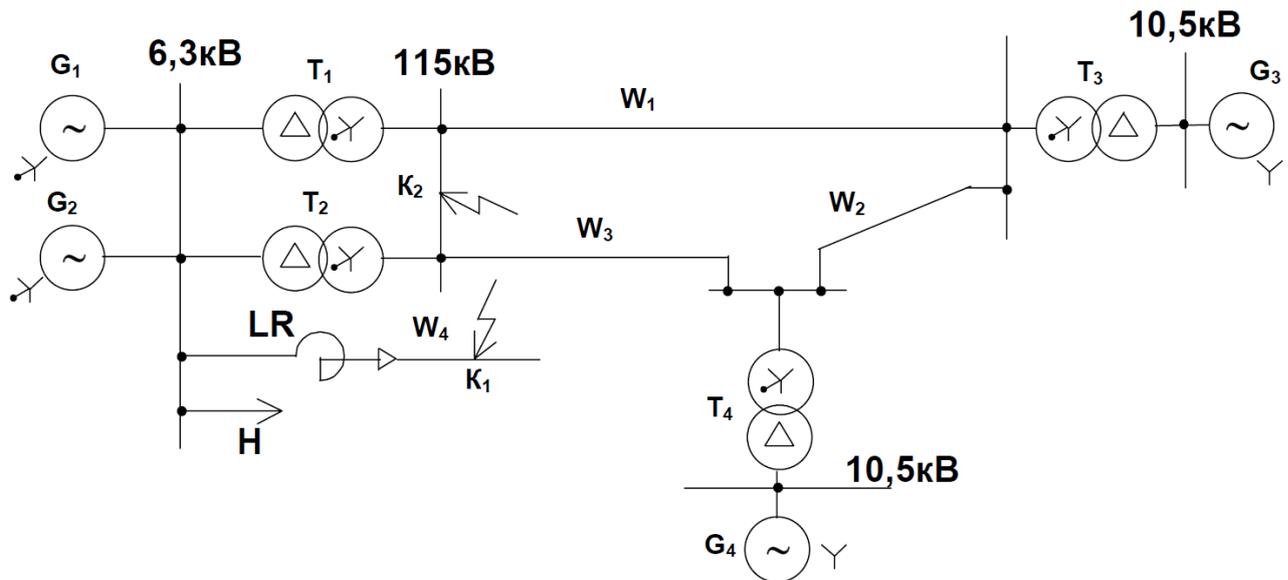


Рис. 3.1.1

Исходные данные элементов схемы:

Таблица 3.1.1 - Генераторы

| № | X_d'' | E_{*H} | S_H, MVA | $\cos\varphi$ |
|----------------|---------|----------|------------|---------------|
| G ₁ | 0,2 | 1,1 | 60 | 0,8 |
| G ₂ | 0,15 | 1,08 | 120 | 0,8 |
| G ₃ | 0,18 | 1,1 | 80 | 0,8 |
| G ₄ | 0,12 | 1,05 | 100 | 0,8 |

Таблица 3.1.2 - Линии электропередач

| № | $l, км$ |
|----------------|---------|
| W ₁ | 80 |
| W ₂ | 70 |

| | |
|----------------|----|
| W ₃ | 60 |
| W ₄ | 5 |

Таблица 3.1.3 - Трансформаторы

| № | S _H , MVA | U _k , % |
|----------------|----------------------|--------------------|
| T ₁ | 80 | 10 |
| T ₂ | 120 | 12 |
| T ₃ | 120 | 14 |
| T ₄ | 140 | 8 |

Таблица 3.1.4 - Реакторы

| № | X _p , % | I _H , A | U _H , kV |
|----|--------------------|--------------------|---------------------|
| LR | 6 | 1000 | 6 |

Таблица 3.1.5 - Нагрузка

| № | S _H , MVA | E* _H | X* _H |
|----------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| Z ₁ | 30 | 0.8 | 6 |

X_{уд} – удельное сопротивление 1 км:

- для воздушных линий принимается равным 0,4 Ом/км,
- для кабельных – 0,08 Ом/км;

Схема замещения для расчётов токов КЗ представлена на рис. 3.1.2.

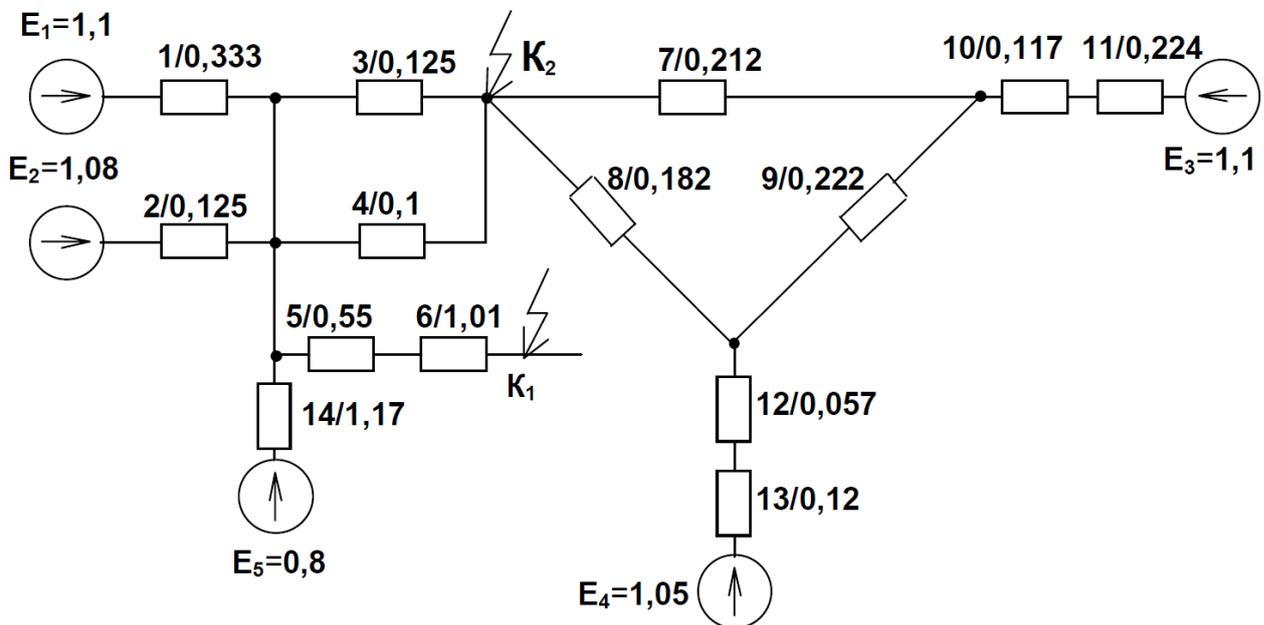


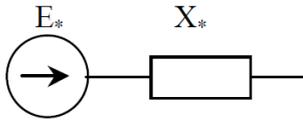
Рис. 3.1.2

Определим параметры элементов этой схемы замещения при S₆ = 100 МВА; U₆ = 6,3 кВ;

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_6}; \text{ тогда } I_6 = 9.15 \text{ кА.}$$

По формулам из таблицы 3.1.6 определим параметры генераторов E* и X* .

Таблица 3.1.6 – Формула для расчета параметров генераторов

| Элемент электроустановки | Исходный параметр | Схема замещения | Формулы для расчета параметров в о.е. |
|--------------------------|----------------------------------|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Генератор | E_{*H} X_{*H} S_{*H} |  | $E_* = E_{*H}$ $X_* = X_{*H} \frac{S_6}{S_H}$ |

Результаты расчётов представлены в таблице 3.1.7

Таблица 3.1.7

| Номер генератора | Номер индекса ЭДС | $E_* = E_{*H}$ | Номер индекса сопротивления | $X_* = X_d'' \frac{S_6}{S_H}$ |
|------------------|-------------------|----------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| G ₁ | E ₁ | 1,1 | X ₁ | $0,2 \cdot \frac{100}{60} = 0,333$ |
| G ₂ | E ₂ | 1,08 | X ₂ | $0,15 \cdot \frac{100}{120} = 0,125$ |
| G ₃ | E ₃ | 1,1 | X ₁₁ | $0,18 \cdot \frac{100}{80} = 0,224$ |
| G ₄ | E ₄ | 1,05 | X ₁₃ | $0,12 \cdot \frac{100}{100} = 0,12$ |

Определим сопротивления трансформаторов по формуле $X_* = \frac{U_k \% S_6}{100 S_H}$

Результаты расчётов представлены в таблице 3.1.8

Таблица 3.1.8

| Номер трансформатора | Номер сопротивления трансформатора | $X_* = \frac{U_k \% S_6}{100 S_H}$ |
|----------------------|------------------------------------|--|
| T ₁ | X ₃ | $\frac{10}{100} \cdot \frac{100}{80} = 0,125$ |
| T ₂ | X ₁₀ | $\frac{14}{100} \cdot \frac{100}{120} = 0,117$ |
| T ₃ | X ₄ | $\frac{12}{100} \cdot \frac{100}{120} = 0,1$ |
| T ₄ | X ₁₂ | $\frac{8}{100} \cdot \frac{100}{140} = 0,057$ |

Определим сопротивления линии электропередач по формуле:

Результаты расчётов представлены в таблице 3.1.9

$$X_* = X_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{ср.н}^2}$$

Таблица 3.1.9

| Номер линии | Номер сопротивления линии | $X_* = X_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{ср.н}^2}$ |
|----------------|---------------------------|---|
| W ₄ | X ₆ | $0,08 \cdot 5 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 1,01$ |
| W ₁ | X ₇ | $0,4 \cdot 80 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,212$ |
| W ₃ | X ₈ | $0,4 \cdot 60 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,182$ |
| W ₂ | X ₉ | $0,4 \cdot 70 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,222$ |

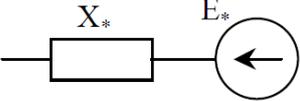
Определим сопротивления реактора **LR** по формуле:

$$X_* = \frac{X_p \%}{100} \cdot \frac{I_{\delta}}{I_H} \cdot \frac{U_H}{U_{ср.н}}$$

$$X_5 = \frac{6}{100} \cdot \frac{9,16}{1} \cdot \frac{6}{6,3} = 0,55$$

По формулам из таблицы 3.1.10 определим параметры нагрузки E_* и X_* .

Таблица 3.1.10 – Формула для расчета параметров нагрузки

| Элемент электроустановки | Исходный параметр | Схема замещения | Формулы для расчета параметров в о.е. |
|--------------------------|-------------------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Обобщенная нагрузка | E_{*H} X_{*H} S_H |  | $E_* = E_{*H}$ $X_* = X_{*H} \frac{S_{\delta}}{S_H}$ |

Результаты расчётов представлены в таблице 3.1.11

Таблица 3.1.11

| | Номер индекса ЭДС | $E_* = E_{*H}$ | Номер индекса сопротивления | $X_* = X_{*H} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_H}$ |
|----------|-------------------|----------------|-----------------------------|---|
| Нагрузка | E_5 | 0,8 | X_{14} | $0,35 \cdot \frac{100}{30} = 1,17$ |

Типовое задание задачи 2:

Упростить схему замещения (см. рис. 3.1.2) при КЗ в точке К1.

Заменяем несколько сопротивлений одним:

$$X_{15} = X_5 + X_6 = 0,55 + 1,01 = 1,56;$$

$$X_{16} = X_{10} + X_{11} = 0,117 + 0,224 = 0,341;$$

$$X_{17} = X_{12} + X_{13} = 0,057 + 0,12 = 0,177;$$

$$X_{18} = X_3 \cdot X_4 / (X_3 + X_4) = (0,125 \cdot 0,1) / (0,125 + 0,1) = 0,057.$$

Используя указанные преобразования (заменяя Δ сопротивлений X_7, X_8, X_9 в $Y X_{19}, X_{20}, X_{21}$ и ветви с E_1, X_1 и E_2, X_2 в ветвь E_6, X_{22} с учетом последовательного и параллельного соединения сопротивлений), можно схему, изображенную на рис. 3.1.2, привести к более простой (рис. 3.1.3) и определить ее новые параметры по формулам из таблицы 3.1.12 (Виды преобразований – Замена нескольких источников одним эквивалентным, Преобразование треугольника в звезду и Преобразование звезды в треугольник).

Таблица 3.1.12

Основные формулы преобразования схем

| Вид преобразования | Исходная схема | Преобразованная схема | Эквивалентные параметры преобразованной схемы |
|---|----------------|-----------------------|--|
| Последовательное соединение | | | $Z_{эк} = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$ |
| Параллельное соединение | | | $Z_{эк} = \frac{1}{Y_{эк}}$, где $Y_{эк} = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n$; $Y_1 = \frac{1}{Z_1}$; $Y_2 = \frac{1}{Z_2}$; $Y_n = \frac{1}{Z_n}$. При двух ветвях: $Z_{эк} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$ |
| Замена нескольких источников одним эквивалентным | | | $E_{эк} = \frac{1}{Y_{эк}} \sum_{k=1}^n Y_k E_k$. При двух ветвях: $E_{эк} = \frac{E_1 Z_2 + E_2 Z_1}{Z_1 + Z_2}$ |
| Преобразование треугольника в звезду | | | $Z_F = \frac{Z_{FG} Z_{HF}}{Z_{FG} + Z_{GH} + Z_{HF}}$, $Z_G = \frac{Z_{FG} Z_{GH}}{Z_{FG} + Z_{GH} + Z_{HF}}$, $Z_H = \frac{Z_{GH} Z_{HF}}{Z_{FG} + Z_{GH} + Z_{HF}}$ |
| Преобразование трехлучевой звезды в треугольник | | | $Z_{GH} = Z_G + Z_H + \frac{Z_G Z_H}{Z_F}$, $Z_{FG} = Z_F + Z_G + \frac{Z_F Z_G}{Z_H}$, $Z_{HF} = Z_H + Z_F + \frac{Z_H Z_F}{Z_G}$ |
| Преобразование многолучевой звезды в полный многоугольник | | | $Z_{FG} = Z_F Z_G \sum Y$, $Z_{GH} = Z_G Z_H \sum Y$, где $\sum Y = Y_F + Y_G + Y_H + Y_J$. Аналогично и при большем числе ветвей |

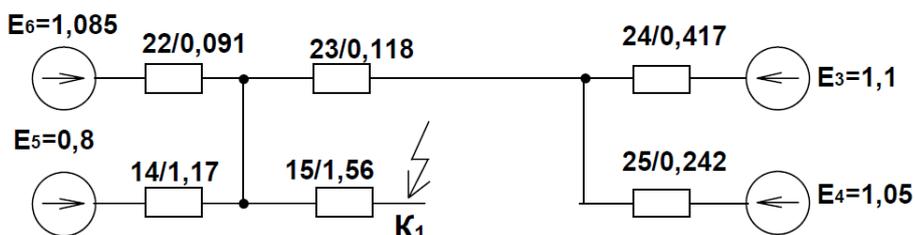


Рис. 3.1.3

$$X_{19} = \frac{X_7 \cdot X_8}{X_7 + X_8 + X_9} = \frac{0,212 \cdot 0,182}{0,212 + 0,182 + 0,222} = 0,0625;$$

$$X_{20} = \frac{X_7 \cdot X_9}{X_7 + X_8 + X_9} = \frac{0,212 \cdot 0,222}{0,212 + 0,182 + 0,222} = 0,0765;$$

$$X_{21} = \frac{X_8 \cdot X_9}{X_7 + X_8 + X_9} = \frac{0,182 \cdot 0,212}{0,212 + 0,182 + 0,222} = 0,0655;$$

$$X_{22} = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} = \frac{0,333 \cdot 0,125}{0,333 + 0,125} = 0,091;$$

$$E_6 = \frac{E_1 \cdot X_2 + E_2 \cdot X_1}{X_1 + X_2} = \frac{1,1 \cdot 0,125 + 1,08 \cdot 0,333}{0,333 + 0,125} = 1,085;$$

$$X_{23} = X_{18} + X_{19} = 0,057 + 0,0625 = 0,118;$$

$$X_{24} = X_{16} + X_{20} = 0,341 + 0,0765 = 0,417;$$

$$X_{25} = X_{17} + X_{21} = 0,177 + 0,0655 = 0,242.$$

Схему на рис. 3.1.3 дальше приводится к простейшему виду с помощью рассмотренных преобразований. По найденным результирующей ЭДС и результирующему сопротивлению определяем периодическую составляющую тока в месте КЗ.

После этого, постепенно разворачивая схему, можно найти токи в отдельных ветвях и напряжения в различных точках исходной схемы.

Преобразование схемы должно производиться в следующей очередности:

1. Необходимо проверить, нет ли в схеме точек одинакового потенциала и, если таковые обнаруживаются, совместить их.
2. Сложить последовательные и параллельные сопротивления.
3. Применить преобразование треугольника в звезду, или наоборот.
4. Определить относительное результирующее сопротивление всей схемы до места КЗ.

Типовое задание задачи 3:

Определить величину установившегося тока при трехфазном КЗ в точке К2 для расчетной схемы (см. рис. 3.1.1), в которой все генераторы без АРВ и до КЗ работали с номинальными параметрами.

Примем следующие базисные величины: $S_6 = 100$ МВ·А; $U_6 = 115$ кВ.

В этом случае генераторы будут введены в схему замещения следующими значениями ЭДС и сопротивлений:

1. Генераторы G_1, G_2

$$E_1 = E_2 = \sqrt{(1 \cdot 0,8)^2 + (1 \cdot 0,6 + 1 \cdot \frac{1,2}{0,7})^2} = 2,45;$$

$$X_1 = X_d \frac{S_6}{S_H} = \frac{C}{K_c} \frac{S_6}{S_H} = \frac{1,2}{0,7} \frac{100}{60} = 2,857;$$

$$X_2 = X_d \frac{S_6}{S_H} = \frac{1,2}{0,7} \frac{100}{120} = 1,428 ;$$

2. Генераторы G₃, G₄

$$E_3 = E_4 = \sqrt{(1 + 0,8)^2 + (1 \cdot 0,6 + 1 \cdot \frac{1,06}{1,1})^2} = 1,75 ;$$

$$X_{11} = X_d \frac{S_6}{S_H} = \frac{1,06}{1,1} \frac{100}{80} = 1,193 ;$$

$$X_{13} = X_d \frac{S_6}{S_H} = \frac{1,06}{1,1} \frac{100}{100} = 0,954 .$$

Нагрузка в схему замещения вводится $E_5 = E_{*H} = 0$

и сопротивлением $X_{14} = X_{*H} \frac{S_6}{S_H} = 1,2 \frac{100}{30} = 4 .$

Сопротивления пассивных элементов (линии, трансформаторы, реакторы) останутся теми же, что и в схеме, изображенной на рис. 3.1.2.

Используя методы преобразования схем, получим результирующую схему (рис. 3.1.4).

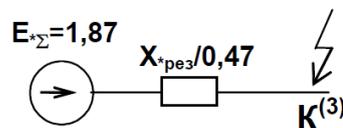


рис. 3.1.4

По результирующим $E_{*\Sigma}$ и $X_{*рез}$ относительно места повреждения определяется ток КЗ в точке $K^{(3)}$:

$$I_{*\infty}^{(3)} = \frac{E_{*\Sigma}}{X_{*рез}} = \frac{1,87}{0,47} = 3,97 .$$

Для получения установившегося тока трехфазного КЗ в именованных единицах необходимо полученный результат умножить на базисный ток:

$$I_{\infty}^{(3)} = I_{*\infty}^{(3)} \cdot I_6 = 3,97 \cdot 0,5 = 1,987 \text{ кА},$$

где $I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,5 \text{ кА}.$

Типовое задание задачи 4:

Определить установившийся ток трехфазного КЗ для схемы, изображенной на рис 3.1.5, и остаточное напряжение на выводах генератора.

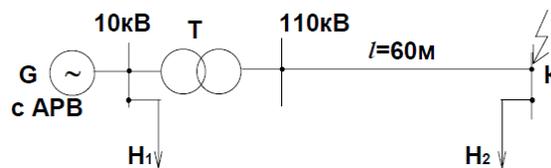


рис. 3.1.5

Исходные данные:

1. Генератора G

$$S_H = 240 \text{ МВ}\cdot\text{А}; \quad K_c = 0,7; \quad I_{*нр} = 3;$$

2. Трансформатор T

$$S_H = 240 \text{ МВ}\cdot\text{А}; \quad U_K\% = 10,5\%;$$

3. Нагрузка H₁ $S_H = 24 \text{ МВ}\cdot\text{А};$

4. Нагрузка H₂ $S_H = 10 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$

Принимаем базисные условия: $S_0 = 240 \text{ МВ}\cdot\text{А}; U_0 = 115 \text{ кВ}.$

Схема замещения представлена на рис. 3.1.6 (нагрузка H₂ отсекается трехфазным КЗ, поэтому она в схему замещения не введена).

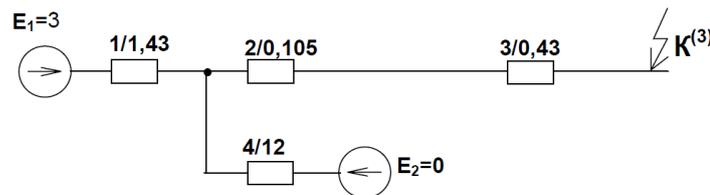


рис. 3.1.6

Определим параметры схемы замещения:

$$E_1 = I_{*нр} = 3;$$

$$X_1 = X_d \frac{S_0}{S_H} = \frac{1}{K_c} \cdot \frac{S_0}{S_H} = \frac{1}{0,7} \cdot \frac{240}{240} = 1,43;$$

$$X_2 = \frac{U_K\%}{100} \cdot \frac{S_0}{S_H} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{240}{240} = 0,105;$$

$$X_3 = X_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_0}{U_{ср.н}^2} = 0,4 \cdot 60 \cdot \frac{240}{115^2} = 0,43;$$

$$X_4 = X_{*н} \frac{S_0}{S_H} = 1,2 \cdot \frac{240}{24} = 12;$$

$$X_\Sigma = \frac{X_1 \cdot X_4}{X_1 + X_4} + X_2 + X_3 = \frac{1,43 \cdot 12}{1,43 + 12} + 0,105 + 0,43 = 1,81.$$

Установим режим работы генератора:

$$X_{кр} = X_1 \frac{U_H}{E_1 - U_H} = 1,43 \frac{1}{3 - 1} = 0,715;$$

$$X_{вн} = ((X_2 + X_3) \cdot X_4) / (X_2 + X_3 + X_4)$$

$$X_{вн} = \frac{(0,105 + 0,43)12}{0,105 + 0,43 + 12} = 0,51.$$

$$X_{кр} > X_{вн},$$

получаем режим предельного возбуждения.

Определим эквивалентную ЭДС:

$$E_э = \frac{E_1 \cdot X_4 + E_2 \cdot X_1}{X_1 + X_4} = \frac{3 \cdot 12}{1,43 + 12} = 2,7.$$

Определим результирующее сопротивление:

$$X_{\Sigma} = \frac{X_1 \cdot X_4}{X_1 + X_4} + X_2 + X_3 = \frac{1,43 \cdot 12}{1,43 + 12} + 0,105 + 0,43 = 1,81.$$

Вычислим установившийся ток трехфазного КЗ:

$$I_{*\infty}^{(3)} = \frac{E_э}{X_{\Sigma}} = \frac{2,7}{1,81} = 1,49;$$

$$I_{\infty}^{(3)} = I_{*\infty}^{(3)} \cdot I_6 = 1,49 \cdot 1,2 = 1,8 \text{ кА.}$$

Для определения остаточного напряжения необходимо вычислить падение напряжения от протекания установившегося тока КЗ по сопротивлению от точки КЗ до рассматриваемой точки.

$$U_{*ост} = I_{*\infty} (X_2 + X_3) = 1,49(0,105 + 0,43) = 0,8;$$

$$U_{ост} = U_{*ост} \cdot \frac{U_6}{\sqrt{3}} = 0,8 \cdot \frac{10,5}{\sqrt{3}} = 4,6 \text{ кВ.}$$

4 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Преподаватель-разработчик –к.т.н, С.А. Панкратов

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен заведующим кафедрой энергетики.

Заведующий кафедрой



В.Ф. Белей

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен методической комиссией ИМТЭС (протокол № 8 от 26.08.2024 г).

Председатель методической комиссии ИМТЭС



О.А. Бельх