

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
2017 г.

УСТОЙЧИВОСТЬ УЗЛОВ НАГРУЗКИ

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине
«Устойчивость узлов нагрузки» для студентов всех форм обучения
направления подготовки Электроэнергетика и электротехника

Курск 2017

УДК 621.311

Составители: В.Н. Алябьев, В.И.Бирюлин, А.О.Танцюра

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *О.М.Ларин*

Электромеханические переходные процессы в узлах нагрузки: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Устойчивость узлов нагрузки» для студентов всех форм обучения направления подготовки Электроэнергетика и электротехника/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.Н.Алябьев, В.И.Бирюлин, А.О.Танцюра. Курск, 2017. 32 с.

Излагаются методические указания к выполнению лабораторных работ, посвященных изучению основных методов исследования статической и динамической устойчивости узлов нагрузки, находящих широкое применение в инженерной деятельности.

Целью выполнения данных работ является выработка у студентов практических навыков исследования работоспособности электроэнергетических систем.

Предназначены для студентов всех форм обучения направления подготовки Электроэнергетика и электротехника.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. . Уч.-изд.л. . Тираж 100 экз. Заказ. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа №1. Вводное занятие. Изучение пакета программ GNU Octave	4
Лабораторная работа №2. Характеристика узлов нагрузки систем электроснабжения	8
Лабораторная работа № 3. Устойчивость режима работы системы электроснабжения при слабых возмущениях	11
Лабораторная работа № 4. Устойчивость режима работы системы электроснабжения при сильных возмущениях	15
Лабораторная работа № 5. Управление режимами работы узлов нагрузки систем электроснабжения	20
Библиографический список	24
Приложение А	25

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ВВОДНОЕ ЗАНЯТИЕ. ИЗУЧЕНИЕ ПАКЕТА ПРОГРАММ GNU OCTAVE

В методических указаниях описаны лабораторные работы по дисциплине «УИРС», выполняемые в среде GNU Octave (Free Software Foundation). В ходе их воспроизводятся электромеханические процессы в электрической системе, имеющие место при возмущениях режима её работы.

Для создания лабораторной модели электроэнергетической системы используется пакет GNU Octave 4.2.1 Released, представляющий широкие возможности для моделирования процессов в системах электроснабжения, т.к. в его составе имеются блоки-модели источников питания, линий, трансформаторов, нагрузок, полупроводниковых преобразователей и многих других элементов.

Octave - высокоуровневый интерпретируемый язык программирования, предназначенный для решения задач вычислительной математики. В состав пакета входит интерактивный командный интерфейс (интерпретатор Octave). Интерпретатор Octave запускается из терминала ОС Linux или из его порта в Windows. После запуска Octave пользователь видит окно интерпретатора.

После запуска QtOctave на экране появляется основное окно приложения. Это окно содержит меню, панель инструментов и рабочую область Octave Terminal. Окно может иметь другой внешний вид, в зависимости от предпочтений пользователя.

Признаком того, что система готова к работе, является наличие знака приглашения >>>. Ввод команд осуществляется с клавиатуры в командной строке Command line. Нажатие клавиши Enter заставляет систему выполнить команду и вывести результат.

В Octave можно определять переменные и использовать их в выражениях. Для определения переменной необходимо набрать имя переменной, символ «=» и значение переменной. Здесь знак равенства - это оператор присваивания, действие которого не отличается от аналогичных операторов языков программирования. Таким образом, если в общем виде оператор присваивания записать как имя_переменной = значение_выражения, то в переменную, имя

которой указано слева, будет записано значение выражения, указанного справа.

Все функции, используемые в Octave, можно разделить на два класса встроенные и определённые пользователем. В общем виде обращение к функции в Octave имеет вид:

имя переменной = имя функции(аргумент)

или

имя функции(аргумент).

Основные операторы языка программирования

Группы команд, состоящие из операторов присваивания и обращения к встроенным функциям, представляют собой простейшие программы Octave. Если такая программа хранится в файле с расширением .m (.M), то для её выполнения достаточно в командной строке Octave ввести имя этого файла (без расширения). В Octave встроен достаточно мощный язык программирования.

Численное интегрирование

Пусть дана функция $f(x)$, известно, что она непрерывна на интервале $[a, b]$ и уже определена её первообразная $F(x)$, тогда определённый интеграл от этой функции можно вычислить в пределах от a до b по формуле Ньютона–Лейбница.

Решением дифференциального уравнения называется функция $x(t)$, которая обращает уравнение в тождество.

Численные методы решения дифференциального уравнения первого порядка будем рассматривать для задачи Коши.

Наиболее часто используемыми в Octave функциями для решения дифференциальных уравнений являются:

- `ode23(@f, interval, X0, options)`, `ode45(@f, interval, X0, options)` - функции решений обыкновенных нежёстких дифференциальных уравнений (или систем) методом Рунге-Кутты 2-3-го и 4-5-го порядка точности соответственно;

- `ode5r(@f, interval, X0, options)`, `ode2r(@f, interval, X0, options)` - функции решений обыкновенных жёстких дифференциальных уравнений (или систем).

Для моделирования трехфазного источника питания можно воспользоваться источниками переменного напряжения из библиотеки электрические источники, задав их параметры:

- пиковое (амплитудное) фазное напряжение, V ;
- значение фазного угла фазы A , град;

- частота питающего напряжения, Гц;
- активное сопротивление в Ом;
- индуктивность источника в Гн.

Вывод нейтрали заземляется через заземление из библиотеки Connector, если моделируемая система работает с заземленной нейтралью.

Для моделирования линий удобнее всего использовать блок 3 Phase PI Line Section. Данный блок представляет собой трехфазную линию с распределенными параметрами и находится в библиотеке Elements. При настройке блока линии необходимо задать следующие параметры:

- частоту питающего напряжения, Гц;
- активное сопротивление прямой и нулевой последовательностей, Ом/км;
- индуктивность прямой и нулевой последовательностей, Гн/км;
- емкость фаз относительно земли прямой и нулевой последовательностей, Ф/км;
- длину линии в км.

Для моделирования нагрузок используются соответствующие блоки, входящие в библиотеку Elements раздела основной библиотеки SimPowerSystem. При этом необходимо задать следующие параметры:

- номинальное междуфазное напряжение (действующее значение);
- номинальная частота, Гц;
- трехфазная активная мощность, Вт;
- трехфазная индуктивная реактивная мощность, вар;
- трехфазная емкостная реактивная мощность, вар.

Блоки-модели трехфазных трансформаторов находятся в библиотеке Elements.

Блоки-модели трехфазных трансформаторов находятся в библиотеке Elements. В полях окна настройки последовательно задаются параметры самого трансформатора (номинальная мощность в кВ·А и частота питающего напряжения), параметры обмоток трансформатора (действующее значение линейного напряжения,

активное сопротивление и индуктивность), схемы соединения первичных и вторичных обмоток.

Для моделирования трехфазного асинхронного электродвигателя необходимо задать следующие параметры:

- тип ротора (Rotor Type). Здесь следует выбрать либо короткозамкнутый (Squirrel-cage) или фазный (Wound);
- система отсчета при анализе (Reference frame), выбирается параметр Stationary;
- номинальная мощность в Вт, номинальное действующее линейное напряжение и частота питающей сети.

Далее вводятся параметры схемы замещения статора и ротора, а также параметры ветви намагничивания. В следующем поле необходимо задать значения момента инерции, коэффициента вязкого трения и числа пар полюсов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Общие сведения об электромеханических системах.
2. Модели электромеханических системах.
3. Общие сведения о схемах замещения и характеристиках мощности.
4. Порядок составления формул в пакете программ GNU Octave.
5. Работа с графикой в пакете программ GNU Octave.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ХАРАКТЕРИСТИКА УЗЛОВ НАГРУЗКИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование угловых характеристик мощности синхронного неявнополюсного генератора при его работе на электрическую сеть бесконечной мощности.

УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Схема простейшей электропередачи представлена на рис. 2.1.

По заданным преподавателем номинальным значениям параметров источников, линии, трансформаторов составить схему замещения простейшей цепи и рассчитать параметры её элементов.

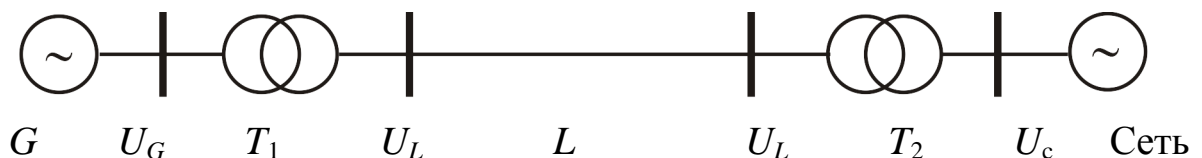


Рис. 2.1

Рассчитать ЭДС генератора, при которой в систему будет передаваться номинальная активная и реактивная мощность.

$$E_q = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 X_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_0 X_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2},$$

где $X_{d\Sigma}$ - эквивалентное суммарное сопротивление электропередачи.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовить модель простейшей системы электропередачи для проведения исследований (рис. 2.2.).

Открывая последовательно окна параметров элементов модели электрической системы, ввести цифровые данные, полученные в результате предварительного расчета.

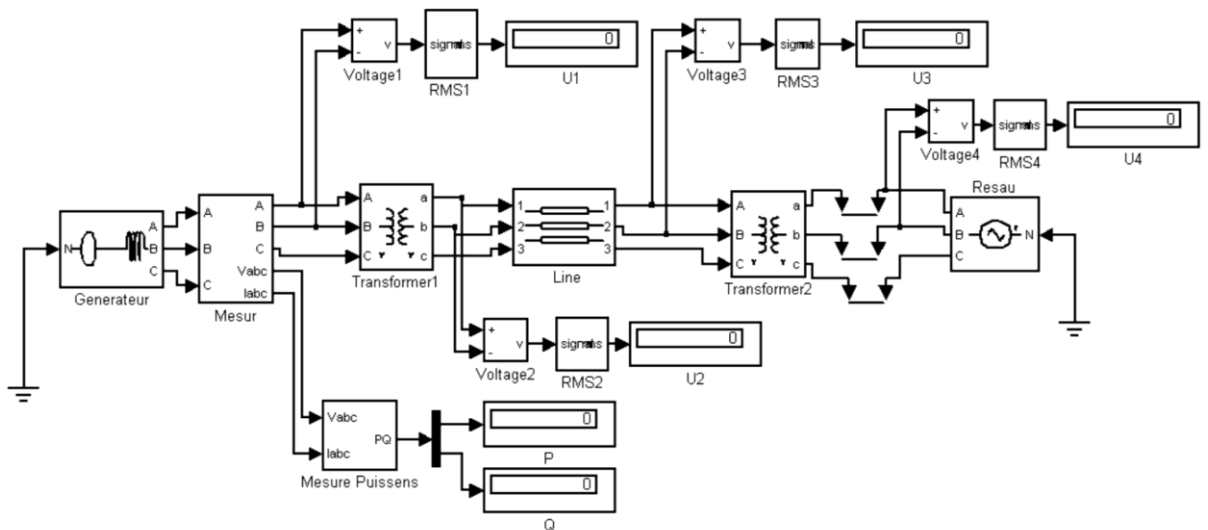


Рис.2.2

Длительность симуляции установить равной 0,5 с.

Установить рассчитанную ранее величину ЭДС генератора. Начальные фазы ЭДС генератора и ЭДС сети установить равными нулю.

Запустить моделирование.

2. Записать показания измерительных приборов. О правильном функционировании модели можно судить по равенству нулю передаваемой активной мощности и по распределению напряжений вдоль электропередачи.

3. Получить угловую характеристику электропередачи, для чего при сохранении начальной фазы напряжения сети изменяя начальную фазу ЭДС генератора от 0 до 180° (через 15°), записать показания всех приборов в табл. 1.1.

Таблица 1.1

№ п/п	δ , град	E_g , кВ	P , кВт	Q , квар	U_1 , кВ	U_2 , кВ	U_3 , кВ	U_4 , кВ

4. Построить угловую характеристику электропередачи ($P = f(\delta)$).

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист стандартной формы;
- цель работы;
- схему и параметры простейшей электропередачи;
- краткое содержание рабочего задания;
- полное содержание предварительного расчета параметров элементов схемы замещения;
- пояснение принципа составления модели электрической цепи;
- полное содержание результатов экспериментальной части с графиками и таблицами данных;
- анализ результатов эксперимента;
- выводы, сделанные по результатам выполнения лабораторной работы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Характеристика мощности синхронного генератора.
2. Векторная диаграмма нормального режима работы синхронного генератора.
3. Особенности характеристики мощности явнополусной машины.
4. Влияние жесткости связи с приемной системой на предел передаваемой мощности.
5. Область статически устойчивых режимов характеристики мощности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

УСТОЙЧИВОСТЬ РЕЖИМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ СЛАБЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование устойчивости синхронного генератора, работающего на систему бесконечной мощности, при коротком замыкании на одной из цепей двухцепной линии электропередачи.

УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Схема электропередачи представлена на рис. 2.1.

По заданным преподавателем номинальным значениям параметров источников, линии, трансформаторов составить схему замещения простейшей цепи и рассчитать параметры её элементов.

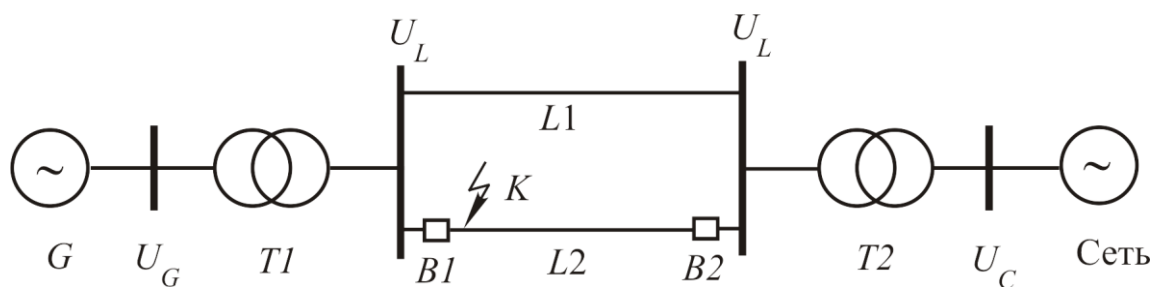


Рис.3.1

В качестве исходных данных использовать паспортные характеристики генератора и характеристики элементов системы, приведенные в Приложении А.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовить модель для проведения исследований (рис. 3.2.).

Открывая последовательно окна параметров элементов модели электрической системы, ввести цифровые данные, полученные в результате предварительного расчета.

Внутреннее сопротивление сети выбрать равной одной сотой базисного сопротивления выходной обмотки трансформатора T_2 , которое равно отношению фазного напряжения выходной обмотки

трансформатора к номинальному току той же обмотки. Аргумент внутреннего сопротивления принять равным 60° .

Относительное значение напряжения возбуждения генератора принять равным единице. Относительное значение входной механической мощности турбины генератора установить равной 0,5.

Установить длительность симуляции равной 3 с.

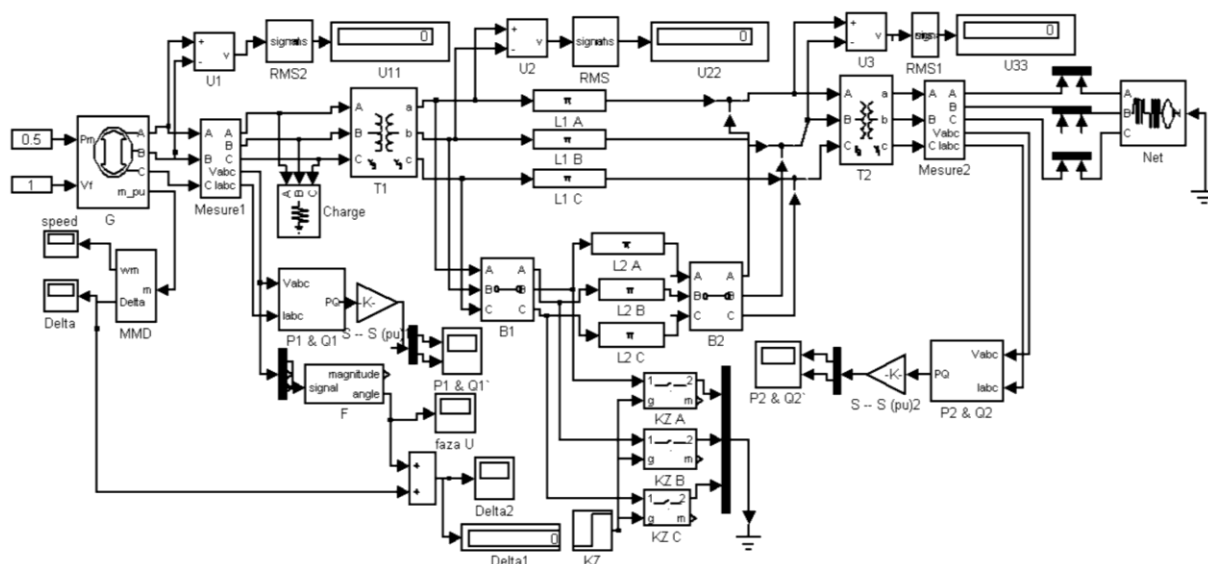


Рис.3.2

Запустить симуляцию модели. При отсутствии ошибок моделирования установить в окне параметров такое номинальное напряжение генератора, при котором напряжение на его зажимах (напряжение U_1) с точностью $\pm 1\%$ будет равно номинальному напряжению, указанному в паспортных данных генератора.

Установить длительность симуляции равной 6...10 с.

Открыть окно параметров блока *KZ* и установить момент наступления короткого замыкания равным 3...5 с. Открыть окна параметров выключателей B_1 и B_2 и установить моменты срабатывания, соответствующие моменту отключения поврежденной линии, равными 3,1...5,1с в зависимости от значения момента наступления нарушения нормального режима. Это необходимо сделать так, чтобы длительность короткого замыкания составила 0,1с.

Запустить симуляцию модели. В течение времени моделирования процессов в системе наблюдать изменение фазового угла между ЭДС

генератора и напряжением сети (осциллограмма осциллографа Delta2).

По окончании симуляции записать показания приборов (напряжения U_1 , U_2 , U_3 и U_4). Запомнить в соответствующих файлах осциллограммы, показывающие изменение во времени угла δ_G генератора, угла δ , мощностей P_1 и Q_1 , мощностей P_2 и Q_2 (осциллографы Delta, Delta 1, $P_1\&Q_1$, $P_2\&Q_2$).

Увеличить длительность нарушения режима работы системы на 0,1 с путем увеличения момента срабатывания выключателей B_1 и B_2 на 0,1 с. Запустить симуляцию модели и проследить за изменением фазового сдвига между ЭДС генератора и напряжением сети (осциллограф Delta1).

При сохранении всех параметров системы открыть окно параметров генератора и увеличить постоянную инерции ротора генератора в два раза.

Сравнить результаты исследований.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист стандартной формы;
- цель работы;
- схему и параметры простейшей электропередачи;
- краткое содержание рабочего задания;
- полное содержание предварительного расчета параметров элементов схемы замещения;
- пояснение принципа составления модели электрической цепи;
- полное содержание результатов экспериментальной части с графиками и таблицами данных;
- анализ результатов эксперимента;
- выводы, сделанные по результатам выполнения лабораторной работы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Понятие о динамической устойчивости.
2. Виды больших возмущений режима работы электроэнергетической системы.
3. Относительное движение ротора генератора.
4. Работа сил ускорения и торможения, их геометрическая интерпретация.
5. Влияние быстродействия защит на динамическую устойчивость генератора.
6. Уравнение движения ротора и его частное решение при трёхфазном коротком замыкании.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

УСТОЙЧИВОСТЬ РЕЖИМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ СИЛЬНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование устойчивости асинхронного двигателя при изменении механического момента нагрузки на валу и при изменении напряжения питающей сети.

УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

По заданным преподавателем номинальным значениям напряжений источника, линии, номинального напряжения двигателя и его мощности выбрать типы трансформаторов и линии электропередач системы, схема которой представлена на рис. 4.1.



Рис.4.1

На основании паспортных данных элементов системы рассчитать параметры элементов для использования при моделировании.

В качестве исходных данных использовать паспортные характеристики элементов системы, приведенные в Приложении А.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовить модель для проведения исследований. (Схема модели представлена на рис. 4.2.)

Провести тестирование асинхронного двигателя, для чего необходимо:

– открыть окно параметров блока Net, установить напряжение сети, равное номинальному напряжению асинхронного двигателя, внутреннее сопротивление сети установить минимальным, открыть

окно параметров асинхронного двигателя, установить ранее рассчитанные цифровые значения, отражающие свойства асинхронного двигателя;

– запустить симуляцию модели и получить с помощью графопостроителя $M = f(s)$ механическую характеристику асинхронного двигателя;

– по полученной характеристике вычислить кратность пускового и максимального момента.

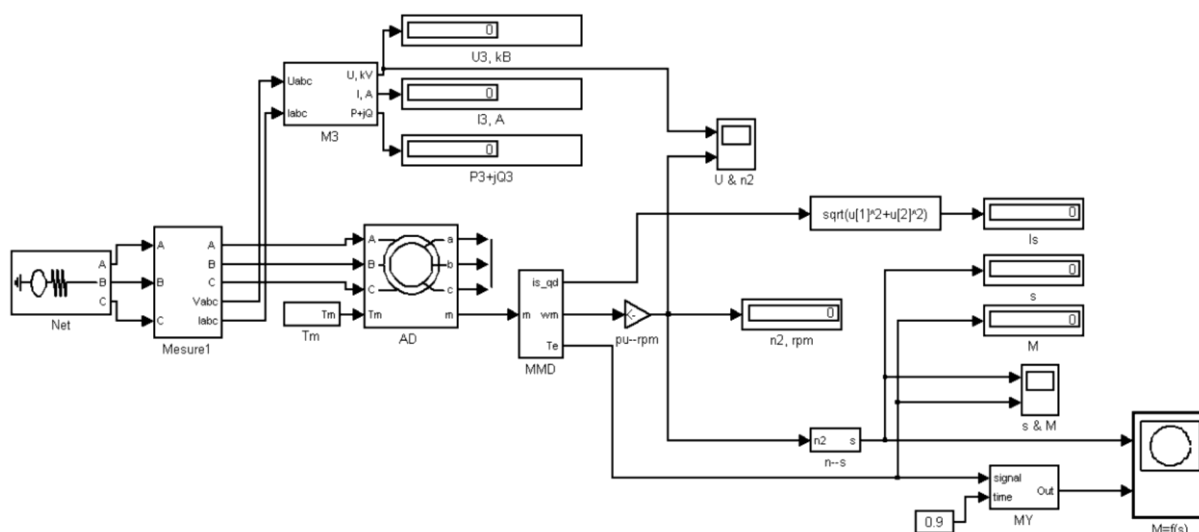


Рис.4.2

Сверив полученные значения с паспортными данными, сделать заключение о правильности предварительного расчета. При небольших отклонениях от расчетных значений скорректировать цифровые значения сопротивлений статора и ротора. Следует учесть то, что значение максимального механического момента зависит в большей степени от сопротивлений статора и реактивного сопротивления ротора, а величина пускового момента зависит от активного сопротивления ротора. Следует помнить о том, что кратность пускового момента находится в пределах 0,9...1,6, а кратность максимального момента может находиться в пределах 1,8...2,7.

Занести в память компьютера механическую характеристику асинхронного двигателя, представленную графопостроителем для составления отчета.

2. Подготовить модель испытания асинхронного двигателя на устойчивость к механической перегрузке. (Схема модели представлена на рис. 4.3.)

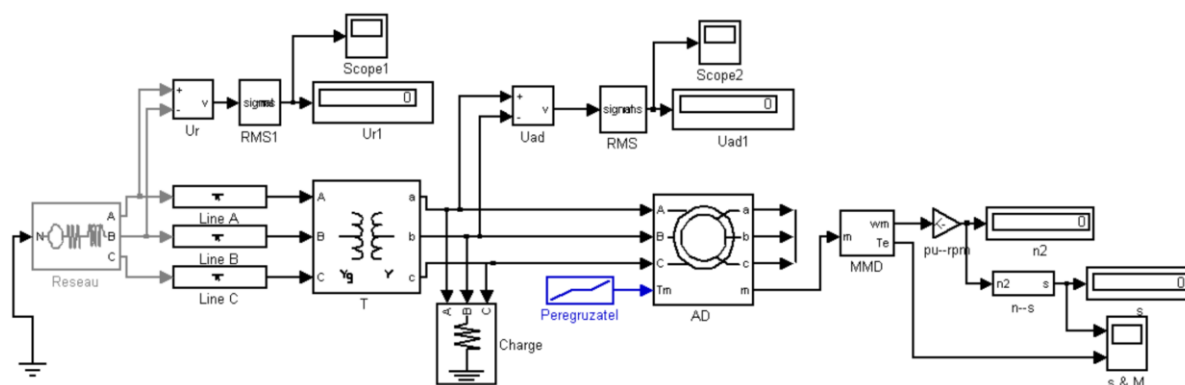


Рис.4.3

Открыть окно параметров асинхронного двигателя, ввести необходимые параметры асинхронного двигателя в соответствии с вариантом и результатами предварительного расчета.

Открыть окно параметров трансформатора, линии и сети и ввести необходимые данные.

Установить длительность симуляции равной 2 с.

Запустить симуляцию модели. Проверить напряжение на зажимах асинхронного двигателя. Оно должно быть равным номинальному напряжению генератора. Если это условие не выполняется, скорректировать значение электродвижущей силы сети блока Reseau для того, чтобы это условие выполнялось с точностью $\pm 5\%$.

Установить длительность симуляции равной 6 с.

Запустить симуляцию модели. По окончании симуляции записать показания измерительных приборов. Графики зависимости электромагнитного момента, развиваемого двигателем, и скольжения от времени сохранить в отдельном файле компьютера. Графики изменения напряжения сети и напряжения на зажимах асинхронного двигателя (Scope1, Scope2) сохранить в файлах компьютера. Полученную информацию использовать при составлении отчета.

3. Подготовить модель для анализа устойчивости асинхронного двигателя к изменению напряжения. Схема модели представлена на рис. 4.4.

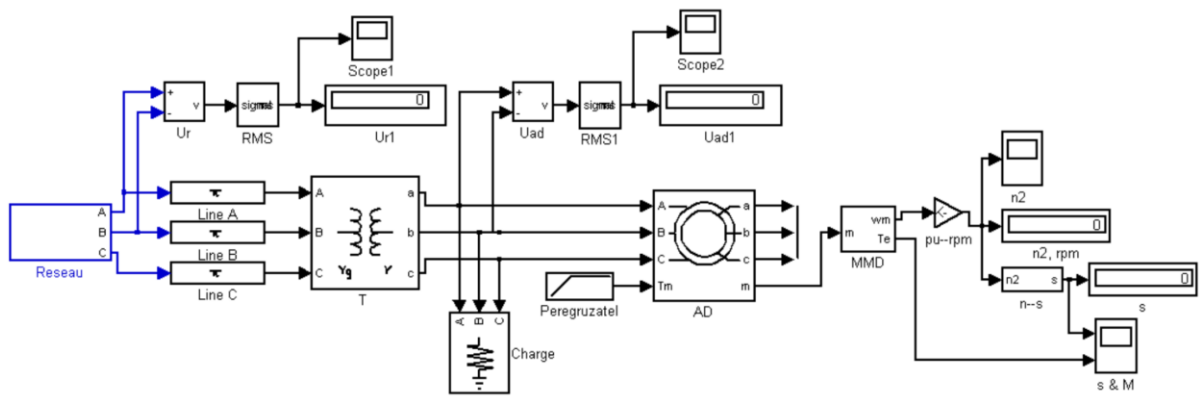


Рис.4.4

Открывая последовательно окна параметров элементов модели системы по методике предыдущих разделов, внести в них параметры элементов.

Двойным кликом мыши открыть блок Reseau.

Открыть блок Net1 и установить номинальное напряжение сети.

Открыть блок Net1 и установить аварийное напряжение сети, равное 0,75 номинального напряжения сети.

Открыть окна параметров выключателей В1 и В2. Установить момент срабатывания выключателей равный 2,5 с. Следует уточнить исходное состояние выключателей. Выключатель В1 нормально замкнут, а выключатель В2 нормально разомкнут. Второй момент срабатывания выключателей установить равным 10 с.

Запустить симуляцию модели. По окончании симуляции открыть осциллограммы s&M. По поведению графика $s(t)$ можно судить о нарушении устойчивости асинхронного двигателя.

Изменяя значение напряжения блока Net2 в блоке Reseau добиться нарушения устойчивости асинхронного двигателя. О нарушении устойчивости можно судить по факту остановки двигателя, что соответствует пересечению графиком $s(t)$ значения равного 1.

Для двух значений напряжения аварийного режима, соответствующих сохранению и нарушению устойчивости асинхронного двигателя, запомнить осциллограммы изменения напряжений питающей сети и напряжения на зажимах генератора в соответствующих файлах. Запомнить также осциллограммы изменения скольжения и электромагнитного момента двигателя

осциллографа s&M. Осциллограммы использовать для составления отчета.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист стандартной формы;
- цель работы;
- схему и параметры простейшей электропередачи;
- краткое содержание рабочего задания;
- полное содержание предварительного расчета параметров элементов схемы замещения;
- пояснение принципа составления модели электрической цепи;
- полное содержание результатов экспериментальной части с графиками и таблицами данных;
- анализ результатов эксперимента;
- выводы, сделанные по результатам выполнения лабораторной работы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Характеристика мощности асинхронного двигателя.
2. Номинальный, максимальный и пусковой моменты асинхронного двигателя.
3. Критическое скольжение.
4. Критерий статической устойчивости асинхронного двигателя.
5. Влияние питающего напряжения, момента сопротивления механизма и инерции ротора на статическую устойчивость асинхронного двигателя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ УЗЛОВ НАГРУЗКИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование динамической устойчивости асинхронного двигателя при различных кратковременных нарушениях режима работы питающей сети и кратковременном увеличении механического момента нагрузки.

УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

По заданным номинальным параметрам сети, асинхронного двигателя, напряжения линии электропередач выбрать типы трансформаторов и линии системы, схема которой представлена на рис. 5.1.

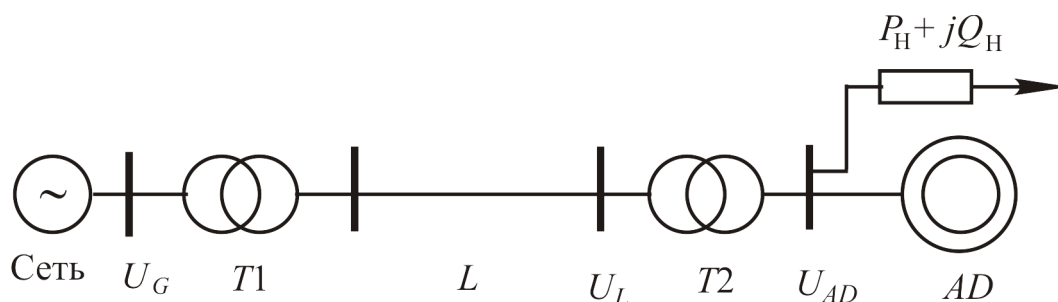


Рис.5.1

При выборе элементов системы передачи электрической энергии необходимо учесть подключение нагрузки к шинам питания асинхронного двигателя. Мощность нагрузки (Charge 1, рис. 5.2) принять равной 0,01 мощности трансформатора T_1 . Сопротивление нагрузки (Charge 2) вычислить из условия потребления мощности в два раза большей мощности двигателя с учетом коэффициента мощности.

На основании паспортных данных элементов системы (Приложение А) рассчитать параметры указанных преподавателем элементов для использования при моделировании.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовить модель для проведения исследования устойчивости асинхронного двигателя к различным внешним воздействиям (см. рис. 5.2).

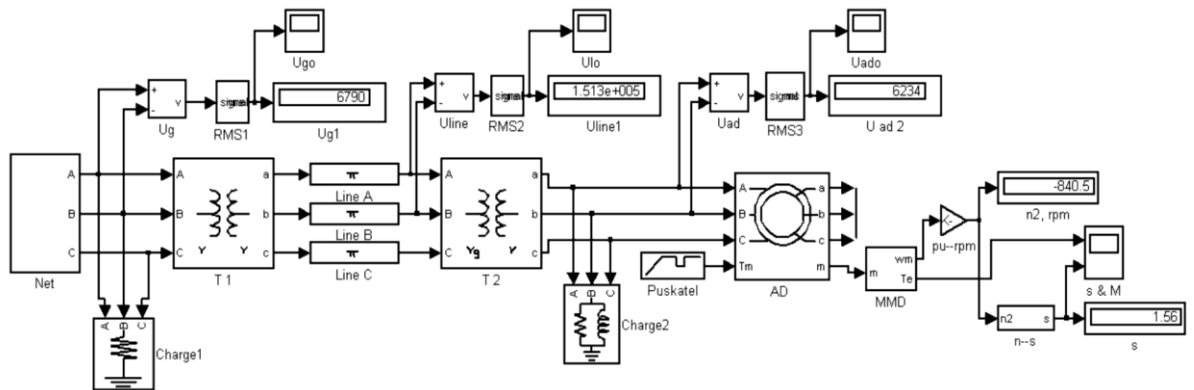


Рис.5.2

Открывая последовательно окна параметров элементов системы, ввести ранее рассчитанные значения параметров.

Открыть двойным щелчком левой кнопки мыши блок Net. В открытом блоке задать напряжения сетей Net1 и Net2 равными заданному напряжению сети. Моменты срабатывания выключателей В1 и В2 установить равными 2 и 2,5 с. Закрыть блок.

Открыть окно параметров блока Puskatel. Установить: момент пуска равным 0, длительность пуска равной 2 с, рабочий момент нагрузки равным 1. Момент начала аварийного режима установить равным 3, длительность аварийного режима установить равной 0,3 с, величину аварийного момента установить равной 3.

Установить длительность симуляции модели равной 6 с.

Запустить симуляцию модели. При моделировании наблюдать изменение электромагнитного момента и скольжения с помощью осциллографа s&M.

По окончании симуляции записать показания измерительных приборов и запомнить осциллограммы изменения напряжений, скольжения и скорости вращения асинхронного двигателя.

2. Исследовать устойчивость асинхронного двигателя к изменению напряжения питания.

Открыть окно блока Puskatel. Установить величину рабочего момента равной 0,7 максимального момента, развиваемого двигателем. О значении максимального момента, развиваемого двигателем в относительных единицах, можно судить по осциллограмме $M(t)$, взятой из предыдущих экспериментов. Установить длительность аварийного режима равной 0,05 с. Установить значение аварийного момента равным рабочему моменту.

Открыть блок Net.

Открыть окно параметров сети Net2. Установить напряжение сети на 1 кВ меньше установленного ранее. Запустить симуляцию и наблюдать изменение электромагнитного момента и скольжения с помощью осциллографа s&M.

Уменьшая напряжение сети в аварийном режиме Net2, добиться остановки асинхронного двигателя, что соответствует скольжению, равному 1. Записать показания измерительных приборов и запомнить осциллограммы напряжений для случая, когда устойчивость асинхронного двигателя нарушается.

Привести модель в исходное состояние и закончить проведение исследований.

При анализе устойчивости асинхронного двигателя следует обратить внимание на скорость нарастания скольжения при увеличении аварийного момента. Эта скорость зависит от момента инерции ротора двигателя, с одной стороны, и от величины механического момента перегрузки, с другой. При определенном значении момента перегрузки ротор за указанный отрезок воздействия может остановиться. Это соответствует равенству единице скольжения ротора.

Длительность воздействия оказывает существенное влияние на устойчивость двигателя. Значение критической длительности, естественно, определяется и избыточным моментом перегрузки и инерционностью ротора двигателя. Массивный ротор с большим внешним диаметром обеспечивает большую устойчивость двигателя.

Нарушение устойчивости двигателя может быть вызвано кратковременным снижением напряжения сети. Если механический момент нагрузки двигателя меньше пускового момента, то при восстановлении напряжения после аварийного режима двигатель запускается без осложнений и переходит в нормальный режим. В противном случае после восстановления нормального режима сети

двигатель не может обеспечить достаточного электромагнитного момента для увеличения скорости вращения.

В соответствии с приведенными пояснениями следует объяснить поведение графиков, полученных путем моделирования. Особое внимание обратить на причины, приводящие к нарушению устойчивости асинхронного двигателя.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист стандартной формы;
- цель работы;
- схему и параметры элементов системы питания асинхронного двигателя;
- краткое содержание рабочего задания;
- полное содержание предварительного расчета параметров системы передачи электрической энергии с пояснениями;
- пояснение принципа составления модели электрической цепи;
- полное содержание результатов экспериментальной части с графиками и соответствующими комментариями;
- детальный анализ результатов эксперимента с объяснением причин полученного изменения величин во времени.

Отчет должен заканчиваться выводами, сделанными по окончании анализа результатов моделирования работы асинхронного двигателя в различных режимах.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Влияние величины питающего напряжения на характеристику мощности и динамическую устойчивость асинхронного двигателя.
2. Влияние момента сопротивления механизма на динамическую устойчивость асинхронного двигателя.
3. Пуск асинхронного двигателя.
4. Основные виды моментов сопротивления механизма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования : Учеб. пособие для студ. вуз. / Под ред. О. Д. Гольдберга. - М. : Высшая школа, 2001. - 512 с. : ил. - ISBN 5-06-003844-0
2. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах [Текст] : учебник для вузов / В. А. Веников. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1985. - 535 с.
3. Жданов П. С. Вопросы устойчивости электрических систем [Текст] / П. С. Жданов ; под ред. Л. А. Жукова. - М. : Энергия, 1979. - 455 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Трансформаторы и автотрансформаторы

Таблица П.1

Технические данные регулируемых трехобмоточных трансформаторов

Тип автотрансформатора	$S_{\text{ном}}$, МВА	Пределы регулиру- рования, %	$U_{\text{ном}}$, кВ, обмоток			$U_{\text{к}}$, %, обмоток			$\Delta P_{\text{к}}$, кВт	$\Delta P_{\text{х}}$, кВт	$I_{\text{х}}$, %
			В	С	Н	В-С	В-Н	С-Н			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
АТДТНГ-32000/220/110	32	$\pm 6 \times 2$	230	121	6,6; 11; 38,5	11	34	21	145	32	0,6
АТДЦТН-200000/220/110	200	$\pm 6 \times 2$	230	121	6,6; 11; 38,5	11	32	20	430	125	0,5
АТДЦТН-250000/220/100	250	$\pm 6 \times 2$	230	121	10,5; 38,5	11,5	33,4	20,8	520	145	0,5
АТДЦТН-125000/330/110	125	$\pm 6 \times 2$	330	115	10,5; 38,5	10	35	22	370	115	0,5
АТДЦТН-200000/330/110	200	$\pm 6 \times 2$	330	115	6,6; 11; 13,8; 15,75; 38,5	10	35	22	740	190	0,6
АТДЦТН-240000/330/220	240	$\pm 6 \times 2$	330	242	11; 38,5	9,5	74	60	430	130	0,6
АТДЦТН-125000/500/110	125	$\pm 6 \times 2$	500	121	6,6; 11; 38,5	10,5	24	13	330	125	0,5
АТДЦТН-250000/500/100	250	$\pm 6 \times 2$	500	121	11/38,5	10,5	24	13	550	250	0,5

Окончание табл. П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$U_B = 110$ кВ											
ТМТН-6300/110	6,3	$\pm 9 \times 1,78$	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	60	14	1,20
ТДТН-1000/110	10	$\pm 9 \times 1,78$	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	80	19	1,10
ТДТН-16000/110	16	$\pm 9 \times 1,78$	115	38,5	6,6; 11	17(10,5)	10,5(17)	6	105	26	1,05
ТДТН-25000/110	25	$\pm 9 \times 1,78$	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	145	36	1,00
ТДТН-40000/110	40	$\pm 9 \times 1,78$	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	230	50	0,90
ТДТН-63000/110	63	$\pm 9 \times 1,78$	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	310	70	0,85
ТДТН-80000/110	80	$\pm 9 \times 1,78$	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	390	82	0,85
$U_B = 220$ кВ											
ТДТН-25000/220	25	$\pm 8 \times 1,5$	230	38,5	6,6; 11	12,5	20	6,5	135	50	1,2
ТДТН-40000/220	40	$\pm 8 \times 1,5$	230	38,5	6,6; 11	12,5	22	9,5	220	55	1,1
ТДТН-63000/220	63	$\pm 8 \times 1,5$	230	38,5	6,6; 11	12,5	24	10,5	320	91	1,0

Таблица П.2

Технические данные двухобмоточных трансформаторов

Тип автотрансформатора	$S_{\text{ном}}$, МВА	Пределы регулирувания, %	$U_{\text{ном}}$, кВ, обмоток		$U_{\text{к}}$, %, обмоток	$\Delta P_{\text{к}}$, кВт	$\Delta P_{\text{х}}$, кВт	$I_{\text{х}}$, %
			В	Н				
$U_{\text{В}} = 110$ кВ								
ТД-40000/110	40	$\pm 2 \times 2,5$	121	6,3; 10,5	10,5	175	42	0,7
ТД-80000/110	80	$\pm 2 \times 2,5$	121	3,15; 6,3	10,5	315	89	0,6
ТДН-16000/110	16	$\pm 9 \times 1,78$	115	6,3; 11	10,5	85	19	0,7
ТДН-40000/110	40	$\pm 9 \times 1,78$	115	38,5	10,5	175	42	0,65
ТДЦН-63000/110	63	$\pm 9 \times 1,78$	115	38,5	10,5	245	59	0,6
ТДЦН-80000/110	80	$\pm 9 \times 1,78$	115	38,5	10,5	310	70	0,55
ТДЦ-125000/110	125	$\pm 2 \times 2,5$	121	10,5; 13,8	10,5	400	100	0,5
ТДЦ-200000/110	200	–	121	13,8; 15,75; 18	10,5	550	140	0,5
ТДЦ-250000/110	250	–	121	13,8; 15,75; 18	10,5	640	200	0,5
ТДЦ-400000/110	400	–	121	20	10,5	900	320	0,45
ТРДН-32000/220	32	$\pm 8 \times 1,5$	230	6,6/11	12	167	53	0,9
ТРДН-40000/220	40	$\pm 8 \times 1,5$	230	11/11 6,6/6,6	12	170	50	0,9
ТРДЦН-63000/220	63	$\pm 8 \times 1,5$	230	6,6/6,6 11/11	12	300	82	0,80
ТРДЦН-1000000/220	100	$\pm 8 \times 1,5$	230	11/11 38,5	12	360	115	0,70
ТДЦ-200000/220	200	–	242	13,8; 15,75; 18	11	580	200	0,45

Параметры воздушных линий

Таблица П.3

Параметры двухцепных воздушных линий электропередачи

Габариты опоры, м	Марка провода	r_1 , Ом/км	x_1 , Ом/км	z_1 , Ом/км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	x_{01-2} , Ом/км
Двухцепная опора ПБ-110-2, трос С-50 заземлен							
	АС-70	0,460	0,415	0,619	0,687	1,415	0,931
	АС-95	0,330	0,404	0,522	0,557	1,404	0,931
	АС-120	0,270	0,396	0,480	0,497	1,396	0,931
	АС-150	0,210	0,389	0,442	0,437	1,389	0,931
	АС-185	0,170	0,383	0,419	0,397	1,383	0,931
	АС-240	0,132	0,374	0,397	0,359	1,374	0,931
	АСО-240	0,131	0,374	0,397	0,358	1,374	0,931
	АСО-300	0,106	0,369	0,384	0,328	1,371	0,931

Таблица П.4

Расчетные параметры прямой последовательности линий 110-750 кВ со сталеалюминиевыми проводами

Марка провода	Число проводов в фазе	r_1 , Ом/км	x_1 , Ом/км				
			110 кВ, $D_{cp} = 5$ м	220 кВ, $D_{cp} = 8$ м	330 кВ, $D_{cp} = 11$ м	500 кВ, $D_{cp} = 14$ м	750 кВ, $D_{cp} = 19,5$ м
1	2	3	4	5	6	7	8
АС-50	1	0,630	0,450	–	–	–	–
АС-70	1	0,450	0,440	–	–	–	–
АС-95	1	0,330	0,429	–	–	–	–
АС-120	1	0,270	0,423	–	–	–	–
АС-150	1	0,210	0,416	–	–	–	–
АС-185	1	0,170	0,409	–	–	–	–
АСО-240	1	0,130	0,401	0,430	–	–	–
	2	0,065	–	0,309	0,328	–	–
АСО-300	1	0,108	0,392	0,422	–	–	–
	2	0,054	–	0,306	0,325	–	–

1	2	3	4	5	6	7	8
ACO-330	3	0,031	–	–	–	0,299	–
ACO-400	1	0,080	0,382	0,414	–	–	–
	2	0,040	–	0,301	0,321	–	–
	3	0,026	–	–	–	0,298	–
ACY-400	4	0020	–	–	–	–	0,280
ACO-500	1	0,065	–	0,410	0,429	–	–
	2	0,032	–	0,305	0,318	–	–
	3	0,022	–	–	–	0,295	–
	4	0,016	–	–	–	–	0,279
ACO-600	1	0,053	–	0,403	0,423	–	–
	2	0,026	–	–	0,315	0,330	–
	3	0,018	–	–	–	0,293	–
	4	0,013	–	–	–	–	0,278
ACO-700	2	0,022	–	–	–	0,326	–
	3	0,015	–	–	–	0,291	–
	4	0,011	–	–	–	–	0,274

Параметры асинхронных двигателей

Таблица П.5

Технические данные асинхронных электродвигателей 6 кВ серий ДАЗО и ДАЗО2

Тип двигателя	Номинальные данные					Пусковые характеристики			
	P , кВт	I , А	N , об/мин	η , %	$\cos\varphi$	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{вах}}}{M_{\text{ном}}}$	J , кг·м ²
14-49-8/10	250	34	744	89,0	0,79	5,7	0,8	2,8	125
	125	22	596	86,0	0,64	6,6	1,4	4,0	
15-41-8/10	500	62	743	91,0	0,85	5,6	0,8	2,6	300
	250	35	595	89,0	0,78	5,8	1,0	2,9	
15-49-8/10	630	78	743	91,0	0,86	5,5	0,8	2,4	350
	320	43	594	90,0	0,80	5,7	0,9	2,7	
15-59-8/10	800	95	742	92,0	0,88	5,4	0,8	2,5	425
	400	53	594	90,5	0,80	5,9	5,9	1,0	2,9
15-69-8/10	1000	115	743	92,5	0,9	5,9	0,9	2,6	500
	500	65	595	91,0	0,81	5,9	1,0	2,9	
17-39-8/10	500	61,5	741	91,0	0,85	5,2	0,65	2,1	288
	250	35,0	594	89,5	0,76	6,1	0,85	2,6	
17-39-10/12	400	52,0	592	91,0	0,80	4,9	0,65	2,1	288
	230	39,0	496	89,0	0,63	6,2	1,1	3,2	
17-44-8/10	630	76,5	741	91,5	0,85	5,2	0,65	2,1	313
	320	44,0	594	90,5	0,77	6,1	0,9	2,7	
17-54-6/8	800	94,5	990	91,3	0,88	5,7	0,7	2,5	388
	400	51,5	745	90,3	0,82	7,1	1,0	3,3	
17-64-8/10	800	96	743	92,5	0,86	6,4	0,85	2,5	463
	400	53	595	91,5	0,79	6,7	0,95	2,8	
500M-4	800	90	1485	95,0	0,90	6,7	1,2	2,2	26,2
560S-4	10000	113	1485	95,0	0,90	6,0	1,0	2,1	42,5
14-59-6	1250	144	990	94,8	0,88	6,0	1,0	2,4	173
15-41-6	1600	187	990	94,8	0,87	6,0	1,1	2,4	175
15-54-8	1600	185	740	94,8	0,88	5,2	1,0	2,0	430
15-56-10	1250	149	590	94,0	0,83	5,0	1,0	2,1	550
16-44-10	1600	188	590	94,5	0,83	5,7	1,0	2,2	813
16-41-16	800	108	370	93,8	0,76	4,9	1,0	2,0	825
16-51-16	1000	133	370	94,0	0,77	5,0	1,0	2,0	998
16-64-16	1250	162	370	94,5	0,79	4,7	1,0	2,0	1238

Параметры турбогенераторов

Таблица П.6

Номинальные данные турбогенераторов

Тип	$S_{\text{НОМ}}$, МВА	$P_{\text{НОМ}}$, МВт	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	$I_{\text{НОМ}}$, кА	$\cos\varphi$	$U_{f\text{НОМ}}$, В	$I_{f\text{НОМ}}$, А	$I_{f\text{хх}}$, А
Т2-12-2	15,0	12,0	6,3	1375	0,8	225	288	111
	15,0	12,0	10,5	825	0,8	226	289	111
Т-20-2	25,0	20,0	10,5	1375	0,8	192	548	208
ТВС-30	37,5	30,0	6,3	3440	0,8	222	456	156
ТВС-32	40,0	32,0	6,3	3670	0,8	221	492	165
	40,0	32,0	10,5	2200	0,8	219	488	155
ТВФ-63-2	78,5	63,0	6,3	7210	0,8	200	1450	538
	78,5	63,0	10,5	4330	0,8	177	1280	450
ТВФ-100-2	117,58	100	10,5	6475	0,85	270	1605	640
ТВ2-100-2	117,5	100	13,8	4955	0,85	219	650	268
ТВФ-120-2	125	100	10,5	6875	0,85	277	1715	634
ТВ2-150-2	166,5	150	18,0	5350	0,9	427	668	321
ТВФ-200-2	235	200	11,0	12370	0,85	400	2240	860
ТВВ-200-2	253,3	200	15,75	8625	0,85	315	2660	1025
ТГВ-200	235	200	15,75	8625	0,85	420	1890	720
ТГВ-300	353	300	20,0	10200	0,85	420	3050	1057

Таблица П.7

Электрические параметры турбогенераторов

Тип	$R_{\text{СТ}}$, Ом	R_f , Ом	X_d , о.е.	X'_d , о.е.	X''_d , о.е.	X_{σ} , о.е.	X_2 , о.е.
Т2-12-2	0,00724	0,53	2,09	0,23	0,116	0,092	0,142
	0,0278	0,53	2,09	0,23	0,116	0,091	0,142
Т-20-2	0,0078	0,174	2,46	0,294	0,159	0,159	0,194
ТВС-30	0,00198	0,324	2,53	0,257	0,152	0,118	0,186
ТВС-32	0,00451	0,305	2,52	0,251	0,151	0,126	0,184
	0,00451	0,305	2,7	0,27	0,159	0,134	0,194
ТВФ-63-2	0,00066	0,096	1,915	0,275	0,18	0,18	0,22
	0,00221	0,096	2,199	0,224	0,139	0,139	0,17
ТВФ-100-2	0,00104	0,185	1,79	0,26	0,183	0,157	0,223
ТВ2-100-2	0,00145	0,335	1,8	0,2	0,14	0,113	0,17
ТВФ-120-2	0,00104	0,120	1,907	0,278	0,192	0,167	0,234
ТВ2-150-2	0,00141	0,436	1,49	0,18	0,122	0,097	0,149
ТВФ-200-2	0,00041	0,123	1,88	0,25	0,165	0,140	0,201
ТВВ-200-2	0,00154	0,0878	1,88	0,275	0,191	0,166	0,230
ТГВ-200	0,00115	0,174	1,85	0,295	0,19	0,165	0,232
ТГВ-300	0,00128	0,103	2,2	0,3	0,195	0,17	0,238

Показатели инерционности турбогенераторов

Тип	T'_{d0} , с	T'_d , с	T''_d , с	T_a , с
Т2-12-2	6,72	0,72	0,091	0,106
	6,72	0,72	0,091	0,078
Т-20-2	6,58	0,79	0,98	0,23
ТВС-30	10,0	1,01	0,121	0,21
ТВС-32	10,7	1,07	0,133	0,249
	10,7	1,07	0,130	0,246
ТВФ-63-2	6,09	0,87	0,109	0,344
	8,68	0,86	0,111	0,222
ТВФ-100-2	6,5	0,95	0,119	0,417
ТВ2-100-2	13,0	1,46	0,192	0,386
ТВФ-120-2	6,45	0,94	0,120	0,40
ТВ2-150-2	11,9	1,44	0,18	0,442
ТВФ-200-2	6,83	0,91	0,114	0,51
ТВВ-200-2	6,38	0,934	0,117	0,31
ТГВ-200	6,85	1,1	0,147	0,546
ТГВ-300	7,0	0,96	0,12	0,54