

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.06.02 Моделирование систем электрификации автоматизации

Направление подготовки 35.03.06 Агроинженерия

Профиль образовательной программы «Электрооборудование и электротехнологии»

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций	3
1. 1 Лекция №1 Цели и задачи предмета.	3
1. 2 Лекция №2 Характеристика энергетического оборудования.	5
1. 3 Лекция №3, 4 Уравнения состояния установившегося режима электрической системы.	7
1. 4 Лекция №5 Применение теории вероятности в задачах электроэнергетики.	11
1. 5 Лекция №6 Применение теории вероятности в задачах электроэнергетики.	15
1. 6 Лекция №7, 8, 9 Проектирование электрических машин.	19
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ	28
2.1 Лабораторная работа №1 Вывод в ремонт ВЛ-110 кВ Пугачевская-Аэропорт 1ц.	28
2.2 Лабораторная работа №2 Отключить и заземлить транзитную линию Л7 10кВ для продления работ на линии	30
2.3 Лабораторная работа №3 Вывод в ремонт трансформатора N1, 16 МВА при нормальной схеме ПС Кувандыкская	31
2.4 Лабораторная работа №4 Нахождение повреждения на ТП-315 кабельной разделки КЛ-6кВ л. 1-4 в ст. ГПП ТРЗ	33

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. 1 Лекция №1 (2 часа).

Тема: 1. 1: Цели и задачи предмета.

1.1.1 Вопросы лекции:

- 1 Понятие модели.
- 2 Классификация моделей.

3 Сущность метода моделирования.

1.1.2 Краткое содержание вопросов

1. Понятие модели

Модель — способ замещения реального объекта, используемый для его изучения.

Модель вместо исходного объекта используется в случаях, когда эксперимент опасен, дорог, происходит в неудобном масштабе пространства и времени (длительный, слишком кратковременен, протяжен...), невозможен, неповторим, ненагляден и т. д.

Модель - это, как правило, искусственно созданный объект в виде схемы, математических формул, физической конструкции, наборов данных и алгоритмов их обработки и т.п.

2. Классификация моделей

Основные признаки классификации моделей:

1. Область использования;
2. Учет в модели временного фактора (динамики);
3. Отрасль знаний;
4. Способ представления моделей.

1. Классификация по области использования:

-учебные

-опытные

-научно-технические

-игровые

-имитационные

2. Классификация с учетом фактора времени: статическая и динамическая модели.

Статическая модель — это как бы одномоментный срез информации по объекту (результат одного обследования).

Динамическая модель позволяет увидеть изменения объекта во времени (карточка в поликлинике).

Один и тот же объект, возможно, изучать, применяя и статическую и динамическую модели.

2. Классификация по способу представления:

1). Материальные

2) Информационные: -знаковые (компьютерные и некомпьютерные)

-вербальные

Компьютерная модель — модель, реализованная средствами программной среды.

Важно: моделирование теснейшим образом связано с проектированием. Обычно сначала проектируют систему, потом её испытывают, потом снова корректируют проект и снова испытывают, и так до тех пор, пока проект не станет удовлетворять предъявляемым к нему требованиям. Процесс «проектирование-моделирование» цикличен. При этом цикл имеет вид спирали — с каждым повтором проект становится все лучше, так как модель становится все более детальной, а уровень описания точнее;

Проектирование — процесс создания объекта и его модели; моделирование — способ оценки результата проектирования; моделирования без проектирования не существует.

Моделирование — прикладная инженерная наука класса технологических.

Моделирование — дисциплина, ставящая целью построение моделей и их исследование посредством собственных универсальных методов, а также специфических методов смежных с ней наук (математика, исследование операций, программирование).

Смежными дисциплинами для моделирования можно признать электротехнику, экономику, биологию, географию и другие в том смысле, что они используют методы моделирования для исследования собственного прикладного объекта (например, модель ландшафта, модель электрической цепи, модель денежных потоков и т. д.).

3. Сущность метода моделирования.

Моделирование — это метод познания, состоящий в создании и исследовании моделей.

Процесс моделирования есть процесс перехода из реальной области в виртуальную (модельную) посредством формализации, далее происходит изучение модели (само по себе моделирование) и, наконец, интерпретация результатов как обратный переход из виртуальной области в реальную. Этот путь заменяет прямое исследование объекта в реальной области, то есть лобовое или интуитивное решение задачи.

Итак, процесс моделирования состоит из трёх стадий:

1. формализации (переход от реального объекта к модели),
2. моделирования (исследование и преобразования модели),
3. интерпретации (перевод результатов моделирования в область реальности).



Рис.1. Процесс моделирования.

Каждый объект имеет большое количество различных свойств. В процессе построения модели выделяются главные, наиболее существенные, свойства. Так, модель атома — правильно отражать физические взаимодействия, архитектурный макет города — ландшафт и т.д.

Модель — это некий новый объект, который отражает существенные особенности изучаемого объекта, явления или процесса.

Цели моделирования:

1. понять сущность изучаемого объекта,
2. научиться управлять объектом и определять наилучшие способы управления,
3. прогнозировать прямые или косвенные последствия,
4. решать прикладные задачи.

Разные науки исследуют объекты и процессы под разным углом зрения и строят различные типы моделей. В физике изучаются процессы взаимодействия и движения объектов, в химии — их внутреннее строение, в биологии — поведение живых организмов и т.д. Возьмем в качестве примера человека, в разных науках он исследуется в рамках различных моделей. В рамках механики его можно рассматривать как материальную точку, в химии — как объект, состоящий из различных химических веществ, в биологии — как систему, стремящуюся к самосохранению и т.д. С другой стороны, разные объекты могут описываться одной моделью, а разные объекты могут описываться одной моделью.

1. 2 Лекция №2 (2 часа).

Тема: «Характеристика энергетического оборудования»

1.2.1 Вопросы лекции:

- 1 Математическое описание энергетической системы.
- 2 Параметры режима электрической системы.
- 3 Устойчивость электрической системы.

1.2.2 Краткое содержание вопросов

1 Математическое описание энергетической системы.

В структуре электромеханической системы, представленной на рис.В.2, электромеханический преобразователь ЭМП является функциональным звеном, осуществляющим электромеханическое преобразование энергии. Его физические свойства определяют регулировочные возможности, рациональные способы управления и энергетические показатели электропривода. Поэтому в данном курсе изучению свойств электромеханических преобразователей различного типа уделяется значительное внимание. Основой для углубленного анализа их характеристик, режимов работы и особенностей взаимодействия с другими элементами электромеханической системы являются изученные в курсе электрических машин принципы действия, типы и конструкции двигателей. При этом на первый план выдвигаются вопросы динамики процессов электромеханического преобразования энергии.

2. Параметры режима электрической системы.

При анализе работы сети различают параметры элементов сети и параметры ее режимов.

Параметрами элементов электрической сети являются сопротивления и проводимости, коэффициенты трансформации. К параметрам сети также относят электродвижущую силу (э.д.с.) источников и задающие токи (мощности) нагрузок. К параметрам режима относятся: значения частоты, токов в ветвях, напряжений в узлах, фазовых углов, полной, активной и реактивной мощностей электропередачи, а также значения, характеризующие несимметрию трехфазной системы напряжений или токов и несинусоидальность изменения напряжения и токов в течение периода основной частоты.

Под режимом сети понимается ее электрическое состояние. Возможные режимы работы электрических систем.

При работе в нормальном установившемся режиме значения основных параметров (частоты и напряжения) равны номинальным или находятся в пределах допустимых отклонений от них, значения токов не превышают допустимых по условиям нагревания величин. Нагрузки изменяются медленно, что обеспечивает возможность плавного регулирования работы электростанций и сетей и удержание основных параметров в пределах допустимых норм. Отметим, что нормальным считается режим и при включении и отключении мощных линий или трансформаторов, а также для резкопеременных (ударных) нагрузок. В этих случаях после завершения переходного процесса, который продолжается доли секунды, вновь наступает установившийся нормальный режим, когда значения параметров в контрольных точках системы оказываются в допустимых пределах.

В переходном неустановившемся режиме система переходит из установленногося нормального состояния в другое установившееся с резко изменившимися параметрами. Этот режим считается аварийным и наступает при внезапных изменениях в схеме и резких изменениях генераторных и потребляемых мощностей. В частности, это имеет место при авариях на станциях или сетях, например при коротких замыканиях и последующем отключении поврежденных элементов сети, резком падении давления пара или напоров воды и т.д. Во время аварийного переходного режима параметры режима системы в некоторых ее контрольных точках могут резко отклоняться от нормированных значений.

Послеаварийный установившийся режим наступает после локализации аварии в системе. Этот режим чаще всего отличается от нормального, так как в результате аварии один или несколько элементов системы (генератор, трансформатор, линия) будут

выведены из работы. При послеаварийных режимах может возникнуть так называемый дефицит мощности, когда мощность генераторов в оставшейся в работе части системы меньше мощности потребителей.

Параметры послеаварийного (форсированного) режима могут в той или иной степени отличаться от допустимых значений. Если значения этих параметров во всех контрольных точках системы являются допустимыми, то исход аварии считается благополучным. В противном случае исход аварии неблагополучен и диспетчерская служба системы принимает немедленные меры к тому, чтобы привести параметры послеаварийного режима в соответствие с допустимыми.

3. Устойчивость электрической системы

Устойчивость электрической системы, устойчивость электроэнергетической системы, способность электрической системы (ЭС) восстанавливать исходное (или практически близкое к нему) состояние (режим) после какого-либо его возмущения, проявляющегося в отклонении значений параметров режима ЭС от исходных (начальных) значений. В ЭС источниками электрической энергии обычно являются синхронные генераторы, связанные между собой электрически общей сетью, причём роторы всех генераторов вращаются синхронно; такой режим, называется нормальным, установившимся, должен быть устойчив, т. е. ЭС должна возвращаться в исходное (или практически близкое к нему) состояние всякий раз после отклонений от установившегося режима. Отклонения могут быть связаны, например, с изменением мощности нагрузки, короткими замыканиями, отключениями линий электропередачи и т.п. Устойчивость системы, как правило, уменьшается при увеличении нагрузки (мощности, отдаваемой генераторами) и понижении напряжения (росте мощности потребителей, снижении возбуждения генераторов); для каждой ЭС могут быть определены некоторые предельные (критические) значения этих или связанных с ними величин, характеризующих предел устойчивости. Надёжное функционирование ЭС возможно, если обеспечен определённый запас устойчивости ЭС, т. е. если параметры режима работы и параметры самой ЭС достаточно отличаются от критических. Для обеспечения У. э. с. предусматривают ряд мероприятий, таких, как обеспечение должного запаса устойчивости при проектировании ЭС, использование автоматического регулирования возбуждения генераторов, применение противоаварийной автоматики и т.д.

При анализе У. э. с. различают статическую, динамическую и результирующую устойчивость. Статическая устойчивость характеризует У. э. с. при малых возмущениях, т. е. таких возмущениях, при которых исследуемая ЭС может рассматриваться как линейная. Изучение статической устойчивости проводится на основе общих методов, разработанных А. М. Ляпуновым для решения задач об устойчивости. В инженерной практике исследование У. э. с. иногда проводят упрощённо, ориентируясь на практические критерии устойчивости, определяющие её наличие или отсутствие при некоторых вытекающих из практики допущениях (например, о невозможности т. н. самораскачивания системы, о неизменности частоты электрического тока в системе и др.). При исследовании статической устойчивости применяют цифровые и аналоговые вычислительные машины.

Динамическая устойчивость определяет поведение ЭС после сильных возмущений, возникающих вследствие коротких замыканий, отключении линий электропередач и т. и. При анализе динамической устойчивости (система, как правило, рассматривается как нелинейная) возникает необходимость интегрировать нелинейные трансцендентные уравнения высоких порядков. Для этого применяют аналоговые вычислительные машины и т. н. расчётные модели переменного тока; наиболее часто создают специальные алгоритмы и программы, позволяющие производить расчёты на ЦВМ(цифровая вычислительная машина). Состоительность составленных программ проверяется

сопоставлением результатов расчётов с результатами экспериментов на реальной ЭС либо на физической (динамической) модели ЭС.

Результирующая устойчивость характеризует У. э. с. при нарушении синхронизма части работающих генераторов. Последующее восстановление нормального режима работы происходит при этом без отключения основных элементов ЭС. Расчёты результирующей устойчивости производятся весьма приближённо (из-за их сложности) и имеют целью выявить недопустимые воздействия на оборудование, а также найти комплекс мероприятий, ведущих к ликвидации асинхронного режима работы ЭС.

Статическая У. э. с. может быть повышена в основном использованием сильного регулирования, динамическая – форсированием возбуждения генераторов, быстрым отключением аварийных участков, применением специальных устройств для торможения генераторов, отключением части генераторов и части нагрузки. Повышение результирующей устойчивости, обычно рассматриваемое как повышение живучести ЭС, достигается в первую очередь регулированием мощности, вырабатываемой выпавшими из синхронизма генераторами, и автоматическим отключением части потребителей (автоматической разгрузкой ЭС).

Проблемы У. э. с. возникают при создании систем всех видов: мощных электроэнергетических (наземных), бортовых (корабельных, авиационных) и др.

1.3 Лекция №3, 4 (4 часа).

Тема: «Уравнения состояния установившегося режима электрической системы»

1.3.1 Вопросы лекции:

1. Схема замещения как связанный граф
2. Матрица соединений (первая матрица инциденций)
3. Матрица контуров (вторая матрица инциденций)
4. Обобщенное уравнение состояния
5. Разделение схемы на дерево и хорды
6. Топологические свойства графа
7. Решение уравнений состояния

1.3.2 Краткое содержание вопросов

1. Схема замещения как связанный граф

В качестве уравнений режима системы или уравнений состояния ее сети могут быть приняты узловые или контурные уравнения.

Узловое уравнение показывает наличие баланса комплексных значений токов в соответствующем узле. Оно соответствует первому закону Кирхгофа

$$\dot{J} = \sum_{i=1}^n \dot{I}_i \quad , \quad (2.1)$$

где \dot{J} – задающий ток узла;

$$\sum_{i=1}^n \dot{I}_i \text{ - сумма токов отходящих от узла ветвей.}$$

Контурным уравнением отмечается факт баланса комплексных значений напряжений в замкнутом контуре. Оно соответствует второму закону Кирхгофа

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0 \quad , \quad (2.2)$$

где $\sum_{i=1}^n U_i$ - сумма падений напряжения на ветвях контура.

Для электрической цепи, содержащей n узлов, можно составить $n-2$ взаимно независимых уравнений, т.е. один из узлов исключить из рассмотрения. Узловое уравнение для него получается путем алгебраического суммирования узловых уравнений для всех остальных узлов схемы.

Этот зависимый узел называется *узлом баланса* или *балансирующим узлом*. Число независимых узлов у схемы на единицу меньше суммарного числа ее узлов y' : $y = y' - 1$.

Для любой схемы

$$y + k = v, \quad (2.3)$$

где v – число ветвей;

k – число независимых контуров.

Под независимыми контурами понимаются замкнутые контуры схемы, уравнение для каждого из которых не может быть получено в виде линейной комбинации из уравнений для остальных контуров.

Для одной и той же схемы в число независимых контуров могут быть включены разные замкнутые контуры. Контурные уравнения для одного состава независимых контуров могут быть получены из контурных уравнений для другого состава путем линейной комбинации.

Рабочий режим схемы может быть определен только в том случае, если задано достаточное количество исходных данных.

Так, например, для схемы с известными пассивными параметрами всех ветвей достаточно иметь значения задающих токов в независимых узлах, значения ЭДС во всех ветвях (которые могут быть равны нулю) и напряжение в одном из узлов (относительно нейтрали), которое можно рассматривать как ЭДС в соответствующей ветви (поперечной) схемы. Узел с заданным напряжением называется *базисным*.

В целях упрощения решения обычно *базисный узел* совмещают с *узлом баланса*.

Для формализованного (обобщенного) анализа схемы замещения электрической цепи может применяться теория *графа*.

Граф определяет наличие функциональных связей между отдельными величинами. Применительно к схеме замещения функциональные связи задаются *ребрами* графа, связывающими две его *вершины*.

Граф с фиксированными направлениями ребер называют *направленным*.

Совокупность ребер, связывающих две любые вершины графа, называют *путь графа*. Если начальная и конечная вершины пути графа совпадают, такой путь является замкнутым и образует *контур*.

Если в графе существует путь, связывающий две любые вершины, такой граф называют *связанным*, иначе – *несвязанным*.

Из приведенных кратких сведений теории графов можно сделать заключение о том, что схема замещения электрической цепи и, в частности, электрической сети может рассматриваться как граф.

Схема замещения сети обычно является связанным графом. Она состоит из ветвей (ребер), соединенных в узлы (вершины). Эти ветви образуют цепочки (пути графа), которые могут быть замкнутыми, и превращаются при этом в замкнутые контуры.

Все величины, характеризующие состояние ветвей (токи, ЭДС, напряжения), имеют определенное направление (без чего не может быть найден с достаточной полнотой рабочий режим данной схемы). В связи с этим целесообразно каждой ветви схемы придать определенное (на начальном этапе - произвольно выбранное) направление.

Таким образом, схема замещения сети обычно является связанным, направленным графом, ребрами которого являются ветви, а вершинами узлы.

На рисунке 2.1 в показан пример связанныго, направленного графа схемы

замещения.

На нем указаны выбранные направления ветвей, а также номера ветвей и узлов. На рисунке 2.2 изображена часть этой схемы—подграф (подсхема), являющийся несвязанным, так как, например, нет пути этого графа, которым бы были связаны вершины 1 и 3.

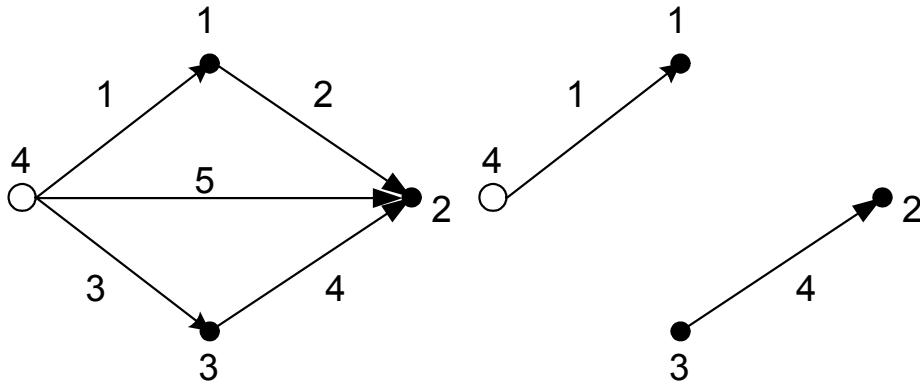


Рис. 2.1- Пример связанного графа

Рис. 2.2- Подграф (несвязанный граф)

Одна из, вершин связанного графа является опорной (базисным узлом или узлом баланса).

Если для двух подграфов опорная вершина является общей и нет других общих вершин, то указанные подграфы пересекаются в общей вершине и граф называется разделяющимся. Это значит, что соответствующие подсхемы могут рассматриваться независимо одна от другой.

Для узлов схем замещения характерными являются значения напряжений относительно какого-либо другого узла (падений напряжения) для ветвей схем замещения – значения токов и ЭДС, действующих в них.

Поэтому уравнение связи для схем замещения в установившихся режимах представляет собой выражение в комплексной форме:

$$U = Z I - E, \quad (2.4)$$

где U – напряжение на ветви, т. е. между начальной и конечной вершинами ветви;

Z и E – параметры ветви (соответственно пассивный и активный).

При изображении схем в виде графов нет надобности в специальных обозначениях сопротивлений и ЭДС: ребра (ветви) графически изображаются (прямой или кривой) с указанием их направлений (рис. 2.1 и 2.2).

Таким образом, направление ветви от начальной вершины (узла) к конечной вершине (узлу) одновременно является положительным направлением и для всех участвующих величин – ЭДС (E), тока (I) и напряжения (U).

Любая из этих вершин может получиться положительной или отрицательной по отношению к принятому направлению.

Таким образом, выбор направления для всех ветвей схемы определяет знаки для всех параметров схемы и параметров ее рабочего режима.

Применение элементов теории графов позволяет еще более рационализировать обобщенные записи математических соотношений и аналитическое решение задач.

В теории графов число независимых вершин называется *рангом графа*, а число независимых контуров (замкнутых) – *числом связности*.

2. Матрица соединений (первая матрица инциденций)

Первая матрица соединений по узлам (инциденций) M_{Σ} служит для обобщенного аналитического представления схемы соединений узлов и ветвей (вершин и ребер) в направленном графе (схеме электрической сети).

При этом используются коэффициенты соединений (инцидентности).

Коэффициент соединений равен: положительной единице (+1), если какой-либо узел i является начальной вершиной некоторой ветви j ; отрицательной единице (-1), если узел i является конечной вершиной ветви j ; нулю, если узел i не является вершиной ветви j .

В матрице соединений строки соответствуют номерам узлов, а столбцы - номерам ветвей.

На пересечении строки i и столбца j располагаются указанные выше коэффициенты инцидентности. Таким образом, матрица дает полное представление о всех соединениях ветвей в узлах схемы.

та матрица является прямоугольной, так как число ее строк равно числу узлов, а число столбцов - числу ветвей.

Сумма всех строк матрицы соединений по столбцам дает нулевую строчную матрицу:

$$n_t M_{\Sigma} = 0, \quad (2.5)$$

где n_t - единичная строка.

Если выделить строку, соответствующую балансирующему узлу, при условии что его номер последний, тогда:

$$M_b = -n_t M, \quad (2.6)$$

где M – матрица соединений для схемы без балансирующего узла,

M_b – матрица соединений для балансирующего узла.

Для схемы, представленной на рисунке 2.1, полная матрица соединений имеет вид:

$$M_{\Sigma} = \begin{vmatrix} 1 & & & \\ & 1 & 1 & 1 \\ & & 1 & \end{vmatrix}$$

а сокращенная, без строки соответствующей базисному узлу

$$M = \begin{vmatrix} 1 & & & \\ & 1 & 1 & 1 \\ & & 1 & \end{vmatrix}$$

3. Матрица контуров (вторая матрица инциденций)

Матрица контуров N служит для обобщенного аналитического представления соединений ветвей схемы в независимые замкнутые контуры.

Строки второй матрицы инциденций N соответствуют номерам независимых замкнутых контуров схемы, а столбцы — номерам ветвей.

Наличие соединений здесь также определяется коэффициентами инцидентности +1, -1 и 0. При этом должно быть выбрано направление обхода каждого контура (независимого, замкнутого).

Положительная единица показывает, что данная ветвь входит в состав рассматриваемого контура и имеет то же направление, что и выбранное направление контура.

Отрицательная единица показывает, что данная ветвь входит в состав рассматриваемого контура, но имеет направление, противоположное направлению контура.

Нуль показывает, что данная ветвь не входит в состав рассматриваемого контура. На пересечении строки i матрицы N (соответствует контуру i схемы) и столбца j (соответствует ветви j схемы) помещается коэффициент в соответствии с приведенными выше показателями соединений.

Каждая строка матрицы показывает, какие ветви входят в состав соответствующего независимого замкнутого контура и с каким направлением относительно направления контура.

Каждый столбец той же матрицы показывает, в состав каких независимых замкнутых контуров входит данная ветвь и совпадает ли ее направление с направлениями этих контуров.

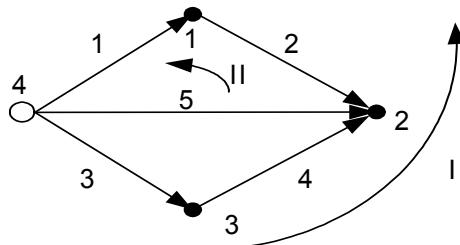


Рис. 2.4- Пример схемы с выбранными направлениями обхода контуров

Для схемы, представленной на рисунке 2.4 матрица контуров имеет вид

$$N = \begin{vmatrix} & & \\ 1 & 1 & \\ & & \\ 1 & 1 & \end{vmatrix}$$

Матрица контуров позволяет получить матричное уравнение второго закона Кирхгофа:

$$NZ_B I = E_k \quad (2.11)$$

где $E_k = NE$ – столбец контурных ЭДС, представляющий собой алгебраические суммы ЭДС ветвей, входящих в каждый независимый контур.

Т.е. используя матрицы M и N можно получить уравнения состояния электрической цепи (формулы 2.7 и 2.11) в матричном виде.

1. 4 Лекция №5 (2 часа).

Тема: «Применение теории вероятности в задачах электроэнергетики»

1.4.1 Вопросы лекции:

1 Основные понятия

2 Основные теоремы

2.1 Теорема сложения вероятностей

2.2 Теорема умножения вероятностей

2.3 Формула полной вероятности

1.4.2 Краткое содержание вопросов

1.1 Основные понятия

Под «событием» в теории вероятностей (ТВ) понимается всякий факт, который в результате опыта может произойти или не произойти. Каждое из событий обладает той или иной степенью возможности: одни – большей, другие – меньшей.

Несколько событий в данном опыте образуют полную группу событий, если в результате опыта непременно должно появиться хотя бы одно из них.

Несколько событий называются несовместными в данном опыте, если никакие два из них не могут появиться вместе.

Несколько событий в данном опыте называются равновозможными, если по условиям симметрии есть основания считать, что ни одно из этих событий не является объективно более возможным, чем другие.

Частоту событий иногда называют его статистической вероятностью. Если обозначить ее знаком $P(A)$, то частота события вычисляется на основании результатов опыта по формуле

$$P(A) = m/n$$

где m – число появлений события A ; n – общее число произведенных опытов.

Частота события всегда правильная дробь и изменяется в пределах $0 \leq P(A) \leq 1$.

При небольшом числе опытов частота события носит в значительной мере случайный характер и может заметно изменяться от одной группы опытов к другой.

Случайной величиной называется величина, которая в результате опыта может принять то или иное значение, причем неизвестно заранее, какое именно.

Случайные величины, принимающие только отделенные друг от друга значения, которые можно заранее перечислить, называются дискретными случайными величинами.

Случайные величины, возможные значения которых непрерывно заполняют некоторый промежуток, называются непрерывными случайными величинами.

Практически невозможным событием называется событие, вероятность которого не в точности равна нулю, но весьма близка к нулю.

Практически достоверным событием называется событие, вероятность которого не в точности равна единице, но весьма близка к единице.

2.Основные теоремы

2.1 Теорема сложения вероятностей

Суммой двух событий A и B называется событие C , состоящее в выполнении события A или события B , или обоих вместе.

Если события A и B несовместны, то естественно, что появление обоих этих событий вместе отпадает, и сумма событий A и B сводится к появлению или события A , или события B .

Другими словами, суммой двух событий A и B называется событие C , состоящее в появлении хотя бы одного из событий A и B .

Суммой нескольких событий называется событие, состоящее в появлении хотя бы одного из этих событий.

Теорема сложения вероятностей формулируется следующим образом.

Вероятность суммы двух несовместных событий равна сумме вероятностей этих событий:

$$P(A + B) = P(A) + P(B). \quad (1.1)$$

Методом полной индукции можно обобщить теорему сложения на произвольное число несовместных событий n .

$$P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n).$$

$$P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \quad . \quad (1.2)$$

Следствия, вытекающие из теоремы сложения вероятностей.

Следствие 1. Если события A_1, A_2, \dots, A_n , образуют полную группу несовместных событий, то сумма их вероятностей равна единице:

$$\sum_{i=1}^n P(A_i) = 1$$

Следствие 2. Сумма вероятностей противоположных событий равна единице:

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1.$$

Противоположными событиями называются два несовместных события, образующих полную группу. Событие, противоположное событию A , принято обозначать \bar{A} .

Это следствие есть частный случай следствия 1. Оно выделено особо ввиду его большой важности в практическом применении теории вероятностей. На практике часто оказывается легче вычислить вероятность противоположного события, чем вероятность прямого события A .

В этих случаях вычисляют $P(\bar{A})$ и находят $P(A) = 1 - P(\bar{A})$.

Как указывалось выше, теорема сложения вероятностей (1.1) справедлива только для несовместных событий. В случае, когда события A_i и B совместны, вероятность суммы этих событий выражается формулой

$$P(A+B) = P(A) + P(B) - P(AB). \quad (1.3)$$

Аналогично вероятность суммы трех совместных событий вычисляется по формуле $P(A+B+C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(AB) - P(AC) - P(BC) + P(ABC)$.

Общая формула для вероятности суммы любого числа совместных событий:

$$P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i) - \sum_{i,j} P(A_i A_j) + \sum_{i,j,k} P(A_i A_j A_k) - \dots + (-1)^{n-1} P(A_1 A_2 \dots A_n). \quad (1.4)$$

2.2 Теорема умножения вероятностей

Произведением двух событий A и B называется событие C , состоящее в совместном выполнении события A и события B .

Произведением нескольких событий называется событие, состоящее в совместном появлении всех этих событий.

Событие A называется независимым от события B , если вероятность события A не зависит от того, произошло событие B или нет.

Событие A называется зависимым от события B , если вероятность события A меняется в зависимости от того, произошло событие B или нет.

Вероятность события A , вычисленная при условии, что имело место другое событие B , называется условной вероятностью события A и обозначается $P(A|B)$.

Условия независимости события A от события B можно записать в виде: $P(A|B) = P(A)$, а условие зависимости – в виде: $P(A) \neq P(A|B)$.

Тогда, теорема умножения вероятностей формулируется как:

Вероятность произведения двух событий равна произведению вероятности одного из них на условную вероятность другого, вычисленную при условии, что первое имело место:

$$P(AB) = P(A)P(B|A). \quad (1.5)$$

При применении теоремы умножения безразлично, какое из событий А и В считать первым, а какое вторым, и теорему умножения можно записать и в таком виде:

$$P(AB) = P(B)P(A|B).$$

Следствие 1. Если событие А не зависит от события В, то и событие В не зависит от события А.

Из следствия 1 следует, что зависимость или независимость событий всегда взаимны. Поэтому можно дать новое определение независимых событий.

Два события называются независимыми, если появление одного из них не изменяет вероятности появления другого.

Понятие независимости событий может быть распространено на любое число событий. Несколько событий называются независимыми, если любое из них не зависит от любой совокупности остальных.

Следствие 2. Вероятность произведения двух независимых событий равна произведению вероятностей этих событий.

Это следствие вытекает из определения независимых событий.

Теорема умножения вероятностей может быть обобщена на случай произвольного числа событий. В общем виде она формулируется так.

Вероятность произведения нескольких событий равна произведению вероятностей этих событий, причем вероятность каждого следующего по порядку события вычисляется при условии, что все предыдущие имели место:

$$P(A_1A_2\dots A_n) = P(A_1)P(A_2/A_1)P(A_3/A_1A_2)\dots P(A_n/A_1A_2\dots A_{n-1}). \quad (1.6)$$

Для независимых событий теорема упрощается и принимает вид:

$$P(A_1A_2\dots A_n) = P(A_1)P(A_2)P(A_3)\dots P(A_n), \quad (1.7)$$

т. е. вероятность произведения независимых событий равна произведению вероятностей этих событий.

Применяя знак произведения, теорему можно записать в общем виде:

$$P\left(\prod_{i=1}^n A_i\right) = \prod_{i=1}^n P(A_i) \quad . \quad (1.8)$$

2.3 Формула полной вероятности

Формула полной вероятности является следствием обеих основных теорем – теоремы сложения вероятностей и теоремы умножения вероятностей.

Пусть требуется определить вероятность некоторого события А, которое может произойти вместе с одним из событий: H_1, H_2, \dots, H_n , образующих полную группу несовместных событий. Будем эти события называть гипотезами.

Так как гипотезы H_1, H_2, \dots, H_n образуют полную группу, то событие А может появиться только в комбинации с какой-либо из этих гипотез:

$$A = H_1A + H_2A + \dots + H_nA.$$

Так как гипотезы H_1, H_2, \dots, H_n несовместны, то и комбинации $H_1A + H_2A + \dots + H_nA$ также несовместны. Применяя к ним теорему сложения вероятностей, получим:

$$P(A) = P(H_1A) + P(H_2A) + \dots + P(H_nA) = \sum_{i=1}^n P(H_iA)$$

Применяя к событию H_iA теорему умножения, получим:

$$P(A) = P(H_1)P(A|H_1) + P(H_2)P(A|H_2) + \dots + P(H_n)P(A|H_n)$$

или формула полной вероятности

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i)P(A|H_i) \quad . \quad (1.9)$$

1. 5 Лекция №6 (2 часа).

Тема: «Применение теории вероятности в задачах электроэнергетики»

1.5.1 Вопросы лекции:

1. Решение уравнений состояния прямыми методами

1.1 Алгоритм метода Гаусса с обратным ходом

1.2 Алгоритм метода Гаусса без обратного хода

1.3 Факторы, влияющие на точность решения

2. Решение уравнений состояния итерационными методами

2.1 Метод простой итерации

2.2 Метод Зейделя

1.5.2 Краткое содержание вопросов

1 Решение уравнений состояния прямыми методами

Для выполнения расчета любого установившегося режима необходима информация о схеме и параметрах сети электрической системы, о потребителях (нагрузках) и источниках электроэнергии (электростанциях).

Сеть электрической системы в расчетах установившихся режимов представляется схемой замещения в виде линейной электрической цепи, конфигурация и параметры которой отображаются матрицей обобщенных параметров.

С математической точки зрения задача сводится к решению системы нелинейных уравнений из-за нелинейной зависимости мощности от тока и напряжения.

Конкретный вид этих уравнений определяется формами уравнений состояния, положенных в основу математического описания установившегося режима, и обобщенными параметрами системы.

Из уравнений состояния наиболее широко применяются узловые уравнения, которые характеризуются как простотой формирования, так и большими возможностями эффективной организации процесса их решения.

Уравнения установившегося режима электрической системы трехфазного переменного тока, связывающие мощности, задающие токи и напряжения узлов, при отсутствии ЭДС в ветвях имеют вид:

$$S_y = 3U_\partial J \quad (3.1)$$

$$Y_y(U - U_\partial) = J \quad (3.2)$$

где S_y – столбец мощностей источников или потребителей, подсоединеных к узлам схемы замещения системы;

$U_\partial = \text{diag}(U_i)$ – диагональная матрица напряжений в узлах схемы замещения;

U – столбец напряжений в узлах схемы;

$U_\partial = U_\partial n$ – столбец, каждый элемент которого равен напряжению в балансирующем узле ($U_i - U_\partial = U_\Delta$);

J – столбец задающих токов в узлах.

Практически в основе всех прямых методов решения линейных алгебраических уравнений установившегося режима электрической системы лежит метод последовательного исключения неизвестных, называемый методом Гаусса. К числу наиболее характерных вычислительных схем этого метода относятся алгоритмы с обратным ходом и без обратного хода.

1.1 Алгоритм метода Гаусса с обратным ходом

Решение системы линейных алгебраических уравнений вида $Ax = b$ по этому алгоритму состоит из двух этапов.

На первом этапе (прямой ход) исходная система за n однотипных шагов преобразуется таким образом, что матрица коэффициентов преобразованной системы становится верхней треугольной, т. е. все элементы, расположенные ниже ее главной диагонали, равны нулю.

На втором этапе (обратный ход) последовательно определяются значения неизвестных от x_n до x_1 .

Последовательность операций, выполняемых при прямом ходе:

На первом шаге в исходной системе уравнений

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

.....

$$a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n = b_n$$

первое уравнение делится на a_{11} . Далее x_1 исключается из всех последующих уравнений ($i = 2, \dots, n$) путем умножения первого уравнения каждый раз на a_{i1} и вычитания из i -го уравнения. В результате этих операций получается система уравнений с матрицей коэффициентов $A^{(1)}$:

$$x_1 + a_{12}^{(1)}x_2 + \dots + a_{1n}^{(1)}x_n = b_1^{(1)}$$

$$0 + a_{22}^{(1)}x_2 + \dots + a_{2n}^{(1)}x_n = b_2^{(1)}$$

$$0 + a_{n2}^{(1)}x_2 + \dots + a_{nn}^{(1)}x_n = b_n^{(1)}$$

$$\text{где } a_{1j}^{(1)} = a_{1j}/a_{11}; b_1^{(1)} = b_1/a_{11};$$

$$a_{ij}^{(1)} = a_{ij} - a_{11}a_{1j}^{(1)}, b_i^{(1)} = b_i - a_{11}b_1^{(1)}$$

$$i, j = 2, \dots, n.$$

Выполнение операций первого шага требует, чтобы элемент a_{11} , называемый *ведущим*, был отличен от нуля.

Второй шаг состоит в исключении x_2 из уравнений 3, ..., n , полученной на первом шаге системы путем выполнения аналогичных операций при использовании в качестве ведущего элемента $a_{22}^{(1)}$. В результате система приводится к виду $A^{(2)}x = b^{(2)}$.

Третий и последующий шаги выполняются аналогично.

На k -м шаге элементы матрицы $A^{(k)}$ и столбца $b^{(k)}$ определяются по выражениям:

$$a_{kj}^{(k)} = a_{kj}^{(k-1)}/a_{kk}^{(k-1)}, b_k^{(k)} = b_k^{(k-1)}/a_{kk}^{(k-1)};$$

$$a_{ij}^{(k)} = a_{ij}^{(k-1)} - a_{ik}^{(k-1)}a_{kj}^{(k)}, b_i^{(k)} = b_i^{(k-1)} - a_{ik}^{(k-1)}b_k^{(k)};$$

$$i, j = k + 1, \dots, n$$

При прямом ходе ведущими элементами последовательно выступают a_{11} , $a_{22}^{(1)}$, $a_{33}^{(2)}$, ..., $a_{nn}^{(n-1)}$ и их отличие от нуля является условием осуществимости процесса вычислений.

В результате выполнения n шагов образуется система уравнений вида

$$x_1 + a_{12}^{(1)}x_2 + \dots + a_{1(n-2)}^{(1)}x_{n-2} + a_{1(n-1)}^{(1)}x_{n-1} + a_{1n}^{(1)}x_n = b_1^{(1)}$$

$$x_2 + \dots + a_{1(n-2)}^{(2)}x_{n-2} + a_{1(n-1)}^{(2)}x_{n-1} + a_{1n}^{(2)}x_n = b_1^{(2)}$$

$$\dots$$

$$x_{n-2} + a_{(n-2)(n-1)}^{(n-2)}x_{n-1} + a_{(n-2)n}^{(n-2)}x_n = b_{n-2}^{(n-2)}$$

$$x_{n-1} + a_{(n-1)n}^{(n-1)}x_n = b_{n-1}^{(n-1)}$$

$$x_n = b_n^{(n)}$$

На этапе обратного хода определяются искомые неизвестные от x_n до x_1 .

1.2 Алгоритм метода Гаусса без обратного хода (схема Жордана)

Решение системы n линейных алгебраических уравнений по этому алгоритму осуществляется за один этап, в результате которого матрица коэффициентов A за n однотипных шагов приводится к единичной, т. е. система уравнений разрешается относительно искомых неизвестных, которые равны соответствующим элементам полученного в результате преобразований столбца в правой части системы.

На первом шаге вычисления выполняются точно так же, как и в алгоритме метода Гаусса с обратным ходом.

Получаемая в результате этого преобразованная система уравнений $A^{(1)}x = b^{(1)}$ характеризуется тем, что первый элемент первого столбца матрицы равен единице, а остальные элементы столбца равны нулю.

На втором шаге, как и в предыдущем алгоритме, в качестве ведущего элемента выбирается диагональный элемент второго столбца матрицы $A^{(1)}$, т. е. $a_{22}^{(1)}$. Отличие состоит в том, что дополнительно преобразуется также и первая строка матрицы $A^{(1)}$, причем таким образом, чтобы элемент $a_{12}^{(1)}$ обратился в нуль.

Выполнение операций произвольного (k -го) шага соответствует преобразованию k -го столбца таким образом, чтобы его диагональный элемент $(a_{kk}^{(k)})$ стал равен единице, а недиагональные элементы $(a_{jk}^{(k)}, j \neq k)$ - нулю.

Формулы для расчета коэффициентов системы уравнений на k -м шаге будут иметь точно такой же вид, как и в алгоритме метода Гаусса с обратным ходом, отличаясь лишь диапазоном изменения индекса строки i , поскольку на каждом шаге рассчитываются элементы всех строк матрицы $A^{(k)}$.

Следовательно, на k -м шаге элементы матрицы $A^{(k)}$ и столбца $b^{(k)}$ определяются по выражениям:

$$\begin{aligned} a_{kj}^{(k)} &= a_{kj}^{(k-1)} / a_{kk}^{(k-1)}, \quad b_k^{(k)} = b_k^{(k-1)} / a_{kk}^{(k-1)}, \\ a_{ij}^{(k)} &= a_{ij}^{(k-1)} - a_{ik}^{(k-1)} a_{kj}^{(k)}, \quad b_i^{(k)} = b_i^{(k-1)} - a_{ik}^{(k-1)} b_k^{(k)}, \\ i &= 1, \dots, n; j \neq k; j = k + 1, \dots, n \end{aligned}$$

В результате выполнения последнего шага ($k = n$), на котором пересчитываются элементы последнего столбца матрицы $A^{(n-1)}$ и все элементы столбца $b^{(n-1)}$, получаем матрицу $A^{(n)} = 1$ и, следовательно, $x = b^{(n)}$.

2 . Решение уравнений состояния итерационными методами

Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений позволяют получить значения искомых неизвестных в результате многократного выполнения единообразных шагов вычислений, называемых *последовательными приближениями или итерациями*.

В отличие от прямых методов, к числу которых относится метод Гаусса, решение можно получить только с заданной конечной точностью, причем *с увеличением требуемой точности растет и количество итераций*.

В итерационном процессе матрица коэффициентов A линейной системы уравнений не подвергается преобразованиям, что позволяет максимально использовать ее слабую заполненность.

Это, в свою очередь, приводит к меньшему объему вычислений на каждой итерации по сравнению с каждым шагом метода Гаусса.

Однако общее число итераций может оказаться (и, как правило, оказывается) значительно больше порядка n решаемой системы уравнений.

В связи с этим итерационные методы по вычислительной эффективности уступают методу Гаусса, особенно при построении алгоритма с учетом слабой заполненности матрицы A .

Рассмотрим два итерационных метода решения систем линейных алгебраических уравнений – метод простой итерации и метод Зейделя.

Эти методы допускают простое обобщение на решение нелинейных уравнений установившегося режима, связывающих мощности и напряжения в узлах электрической системы.

При этом многие свойства итерационного процесса решения нелинейных уравнений установившегося режима электрической системы можно объяснить, рассмотрев более простой случай – решение линейных уравнений состояния.

2.1 Метод простой итерации.

Исходная система линейных алгебраических уравнений

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

.....

$$a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n = b_n$$

преобразуется к виду

$$x_1 = (1/a_{11})(b_1 - a_{12}x_2 - \dots - a_{1n}x_n)$$

$$x_2 = (1/a_{22})(b_2 - a_{21}x_1 - \dots - a_{2n}x_n)$$

..... (3.3)

$$x_n = (1/a_{nn})(b_n - a_{n1}x_1 - \dots - a_{n(n-1)}x_{n-1})$$

при обязательном условии $a_{ii} \neq 0$, $i = 1, \dots, n$.

Преобразованная система решается поэтапно:

1) задаются начальные (нулевые) значения неизвестных $x_i^{(0)}$, $i = 1, \dots, n$;

2) значения $x_i^{(0)}$ подставляются в правые части уравнений и тем самым определяются следующие приближения неизвестных $x_i^{(1)}$, $i = 1, \dots, n$;

3) подстановкой полученных значений $x_i^{(1)}$ находится следующее приближение и т. д.

Таким образом, на k -м шаге итерационного процесса система примет вид:

$$x_1^{(k)} = (1/a_{11})(b_1 - a_{12}x_2^{(k-1)} - \dots - a_{1n}x_n^{(k-1)})$$

$$x_2^{(k)} = (1/a_{22})(b_2 - a_{21}x_1^{(k-1)} - \dots - a_{2n}x_n^{(k-1)})$$

.....

$$x_n^{(k)} = (1/a_{nn})(b_n - a_{n1}x_1^{(k-1)} - \dots - a_{n(n-1)}x_{n-1}^{(k-1)})$$

Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока значения x_i , полученные на двух смежных итерациях, не будут отличаться на величину, меньшую заданной погрешности решения ε , т. е. до выполнения условия

$$|x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)}| < \varepsilon, i = 1, \dots, n. \quad (3.4)$$

Для выполнения условия (3.3) при любой заданной точности решения, т.е. при любом сколь угодно малом значении ε , необходимо, чтобы

$$\lim_{k \rightarrow \infty} x_i^{(k)} = x_i^*, i = 1, \dots, n, \quad (3.5)$$

где x_i^* —точные решения исходной системы уравнений.

При выполнении (3.5) для произвольного начального приближения $x_i^{(0)}$, $i = 1, \dots, n$ итерационный процесс называется *сходящимся*, в противном случае итерационный процесс не приводит к решению и называется *расходящимся*.

Для сходимости итерационного процесса, условием которого служит матричное соотношение $\lim_{k \rightarrow \infty} (x^{(k+1)} - x^{(k)}) = 0$, при любом столбце начальных приближений $x^{(0)}$, необходимо выполнение достаточного условия сходимости:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |a_{ij}| < |a_{ii}|, i = 1, \dots, n. \quad (3.6)$$

или в общем случае

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |a_{ij}| p_j < |a_{ii}| p_i, i = 1, \dots, n, \quad (3.7)$$

где p_i, p_j — положительные вещественные числа.

В частном случае, при $r_j = 1$, $j = 1, \dots, n$, условие (3.7) переходит в (3.6). Однако если достаточное условие сходимости (3.6) не выполняется, то в некоторых случаях можно найти такие r_j , при которых выполняется условие (3.7).

2.2 Метод Зейделя.

Этот метод, так же как и метод простой итерации, базируется на использовании уравнений, приведенных к виду (3.3). Однако в отличие от метода простой итерации для вычисления i -й переменной на каждом k -м шаге итерационного процесса используются значения переменных, вычисленные как на предыдущем $(k-1)$ -м шаге, так и на данном. При этом на k -м шаге итерационного процесса система (3.3) имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} x_1^{(k)} &= (1/a_{11})(b_1 - a_{12}x_2^{(k-1)} - \dots - a_{1n}x_n^{(k-1)}) \\ x_2^{(k)} &= (1/a_{22})(b_2 - a_{21}x_1^{(k)} - a_{23}x_3^{(k-1)} \dots - a_{2n}x_n^{(k-1)}) \\ x_3^{(k)} &= (1/a_{33})(b_3 - a_{31}x_1^{(k)} - a_{32}x_2^{(k)} - a_{34}x_4^{(k-1)} \dots - a_{3n}x_n^{(k-1)}) \\ &\dots \\ x_n^{(k)} &= (1/a_{nn})(b_n - a_{n1}x_1^{(k)} - \dots - a_{n(n-1)}x_{n-1}^{(k)}) \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

Достаточные условия сходимости метода простой итерации являются достаточными и для метода Зейделя.

Как метод Зейделя, так и метод простой итерации не всегда обеспечивают возможность получения решения, поскольку расходимость соответствующих итерационных процессов не исключена.

При этом условия сходимости (или расходимости) определяются только свойствами матрицы A и не зависят ни от начального приближения, ни от столбца правых частей b .

Последние два фактора влияют лишь на количество итераций, необходимых для получения решения с заданной точностью.

При использовании метода Зейделя с помощью простого эквивалентного преобразования исходной системы уравнений (т. е. преобразования, не изменяющего ее решения) всегда можно обеспечить сходимость итерационного процесса.

Действительно, известно, что при положительно-определенной матрице A итерационный процесс по методу Зейделя всегда сходится.

Следовательно, если матрица A – положительно-определенная, то сходимость гарантируется; если нет, то исходную систему можно привести к эквивалентной с положительно-определенной матрицей коэффициентов путем умножения слева на транспонированную матрицу A , т. е. путем перехода от системы $Ax = b$ к системе $A_t Ax = A_t b$ или

$$A'x = b', \quad (3.9)$$

где $A' = A_t A$; $b' = A_t b$.

Если исходная система имеет решение, т. е. если A – неособенная, то матрица A' – положительно-определенная и итерационный процесс по методу Зейделя сходится к решению.

1. 6 Лекция №7, 8, 9 (6 часа).

Тема: «Проектирование электрических машин»

1.6.1 Вопросы лекции:

- 1 Подход к проектированию электрических машин.
- 2 Проблемы оптимального проектирования.
- 3 Основные конструктивные исполнения электрических машин
- 4 Надежность электрических машин.
- 5 Проектирование асинхронных электродвигателей.
- 6 Проектирование машин постоянного тока.
- 7 Проектирование силовых трансформаторов.

1.6.2 Краткое содержание вопросов

1. Подход к проектированию электрических машин

Впервые электрические машины получили применение в промышленности более ста лет назад. Тогда же появились и первые рекомендации по их расчету. В конце XIX в. в Европе и Америке появились крупные электротехнические фирмы «Сименс», «Вестингауз», АЭГ и другие, на которых сложились крупные конструкторские и расчетные отделы. В это время начинают издаваться первые электротехнические журналы. В России журнал «Электричество» начал издаваться в 1880 г.

В России первые электротехнические заводы появились в начале XX в. Это «Электросила» в С.-Петербурге, «Динамо» в Москве и заводы в Харькове и Таллине. В годы первых пятилеток Москва, Ленинград и Харьков превратились в крупные производственные центры электропромышленности. После Великой Отечественной войны электротехническая промышленность развивалась бурными темпами, и в настоящее время крупные центры электромашиностроения есть в десятках городов СНГ. Okoло пятидесяти кафедр высших учебных заведений выпускают специалистов по электрическим машинам.

Первые фундаментальные работы по расчетам и проектированию электрических машин появились в конце десятых — начале двадцатых годов XX в. Это были книги Э. Арнольд, М. Видмара, А. Ла-Кура, Р. Рихтера, К.И. Шенфера, В.С. Кулебакина и др. [5].

Первыми отечественными трудами по проектированию были книги А.Я. Бергера, П.П. Копняева, В.А. Пантелеева и Ф.И. Холуянова. Большой вклад в проектирование электрических машин внесли работы ученых А.Е. Алексеева, Б.П. Апарова, А.И. Вольдека, В.Т. Касьянова, М.П. Костенко, Б.И. Кузнецова, Р.А. Лютера, Г.Н. Петрова, И.М. Постникова, П.С. Сергеева, Т.Г. Сорокера, В.А. Трапезникова и др. [3].

Проектирование электрической машины — сложная многовариантная задача. При ее решении приходится учитывать большое количество факторов. Единственным стремлением всех, кто проектирует машину, является получение, по возможности наиболее быстрым путем, более близкого к заданию расчетного варианта. Поэтому методики, подход к расчету и проектированию электрических машин на всех этапах развития включали все новейшие достижения в теории и практике электромашиностроения.

Большинство расчетных методик исходит из так называемой «машинной постоянной», определяемой из допустимых электромагнитных нагрузок.

Машинная постоянная Арнольда записывается в виде:

$$C_A = \frac{D^2 l_\delta \Omega}{P'} = \frac{2}{\pi a_\delta k_B k_{ob} AB_\delta}, \quad (1.1)$$

где D — диаметр якоря машины постоянного тока или внутренний диаметр статора, м; l_δ — расчетная длина магнитопровода, м; Ω — угловая скорость, рад/с; P' — расчетная мощность, ВА; A — линейная нагрузка, А/м; B_δ — индукция в воздушном зазоре, Тл; a_δ — коэффициент полюсного перекрытия; k_B — коэффициент формы кривой индукции, учитывающий изменение напряжения на выводах машины при холостом ходе и нагрузке; k_{ob} — обмоточный коэффициент.

Масса на единицу мощности является одним из основных факторов, характеризующих технический уровень электрических машин. По сравнению с 1913 г. масса асинхронных двигателей современных серий снижена более чем в 3 раза (рис. 1.1). Наиболее значительное снижение массы было достигнуто в 1920...1950 гг. Предполагается, что в 2000...2001 гг. сокращение массы может составить не более 4—5%. В дальнейшем будет еще труднее обеспечить снижение массы при практически неизменном уровне энергетических показателей электрической машины. Даже небольшой

процент сокращения расхода активных материалов потребует серьезных работ по усовершенствованию конструкции, технических свойств изоляционных и магнитных материалов. Снижение металлоемкости необходимо, так как выпуск машин единых серий постоянно увеличивается.

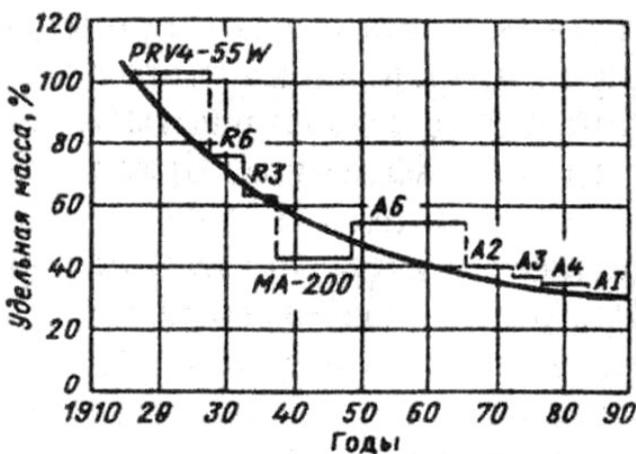


Рис. 1.1. Снижение массы асинхронных двигателей в XX в.

Удельный расход материалов в турбогенераторах с 1952 г. снизился более чем в 3 раза. Турбогенератор на 150 тыс. кВт с водородным охлаждением имел массу 350 т. Турбогенератор ТВВ-1200-2 имеет массу на единицу мощности, равную 0,457 кг/(кВ·А).

Проектирование новых электрических машин со стальными обмотками потребуется сосредоточить усилия и талант многих коллективов инженеров-электромехаников. Вполне реальна замена меди в общепромышленных сериях электрических машин мощность до 5 кВт, так как в этом диапазоне мощности электротехническая промышленность потребляет свыше 50% меди [6].

Как следует из формулы (1.1), размеры машины зависят от индукции в воздушном B_δ и линейной нагрузки A .

При рассмотрении электрической машины как объекта разработки необходимо учитывать объем и длительность проектных, расчетных и технологических работ. Предпроизводственные работы включают изготовление рабочих чертежей, технологической оснастки и опытных образцов.

Электрическая машина как объект производства должна иметь минимальную трудоемкость и капитальные минимальные вложения в производство. Для этого необходимы технологическая конструкция и максимальное использование существующего технологического оборудования и оснастки.

Важнейшим требованием при производстве является минимальная материалоемкость электрических машин. Экономия электротехнической стали, меди, алюминия, изоляции и конструкционных материалов является важнейшим требованием при создании новой электрической машины.

Электрические машины с безотходной технологией изготовления имеют преимущества перед обычными машинами, если сохраняются и требования к машине как к объекту эксплуатации.

Как объект эксплуатации электрическая машина должна иметь высокие энергетические показатели (КПД и $\cos \varphi$). Электрические машины с минимальными потерями позволяют уменьшить вложения материалов в энергосистему. Высокие энергетические показатели электрической машины гарантируют снижение уровня текущих затрат на эксплуатацию и капитальные вложения потребителя.

Улучшение энергетических показателей электрических машин стало особенно актуальным в связи с ростом цен на энергоносители. Вновь разрабатываемые электрические машины должны соответствовать высшей категории качества. Они должны быть надежными и, как правило, иметь срок службы 8...10 лет.

Показатели экономической эффективности электрической машины могут быть установлены на основании анализа приведенных затрат, которые включают затраты на изготовление и эксплуатацию машины.

2. Проблемы оптимального проектирования

Проектирование электрической машины сводится к многократному расчету зависимостей между основными показателями, заданных в виде системы формул, эмпирических коэффициентов, графических зависимостей, которые можно рассматривать как уравнения проектирования. Оптимальное проектирование электрических машин можно представить как поиск оптимальных параметров путем решения этой системы уравнений.

Выбор оптимальных параметров затрудняется сложностью алгоритма расчета электрической машины по формулам проектирования. При проектировании необходимо учитывать стоимость машины, надежность и технологичность конструкции. Эти показатели косвенно входят в формулы проектирования, что затрудняет оптимизацию. Оптимальные варианты электрической машины выбираются на основании широкого применения вычислительных машин, опыта и интуиции проектировщика [1].

Повышение надежности и улучшение КПД должны достигаться без заметного увеличения затрат на изготовление электрической машины. Сокращение расходов на электротехническую сталь и обмоточные провода может дать существенное уменьшение себестоимости электрической машины.

При оптимизации электрических машин важное значение имеет выбор критерия оптимизации. Выбор критерия оптимизации зависит от назначения электрической машины и предъявляемых к ней требований. Для специальных машин целесообразно выбирать минимум массы или минимальные габариты. Для электрической машины общего назначения в качестве критерия оптимизации принимают минимум приведенных затрат.

Выбор критерия оптимизации электрической машины, работающей в автономной энергетической системе, обычно отличается от выбора критерия оптимизации машин общего назначения. Машины автономных энергетических систем в большинстве случаев оптимизируют по минимуму массы, а в передвижных энергетических системах — по минимуму общей массы электрооборудования системы. Если электрическая машина работает при неизменном напряжении, приложенном к ее выводам и не зависящем от нагрузки (сеть бесконечной мощности), задачу оптимизации машины следует проводить по минимуму суммарных затрат.

Задача оптимального проектирования электрической машины или серии машин может быть представлена как общая задача нелинейного математического программирования, которая сводится к нахождению минимума или максимума критерия оптимальности при наличии определенного числа независимых переменных проектирования и функций лимитеров, представляющих собой технические или технологические требования-ограничения к проекту [1,10].

При проектировании электрических машин применяются в основном цифровые ЭВМ. Аналоговые ЭВМ удобно применять при решении задач динамики. Недостатками их являются ограниченный объем решаемой задачи и малая универсальность. Цифровые ЭВМ лишены этих недостатков, однако они требуют трудоемкого программирования. Чтобы избежать излишних потерь времени, целесообразно создавать универсальные программы и хранить их в банках данных.

Основные конструктивные исполнения электрических машин

Почти все электрические машины имеют вращательное движение, причем вращается одна часть машины – ротор.

Независимо от рода питания (постоянного или переменного тока) электрические машины можно разделить на явно- и неявнополюсные.

К неявнополюсным машинам относятся асинхронные машины и быстроходные синхронные машины (турбогенераторы и турбодвигатели).

Структура условного обозначения конструктивного исполнения электрических машин по способу монтажа:

IM $\frac{X}{1}$ $\frac{X}{2}$ $\frac{X}{3}$ $\frac{X}{4}$

Группы конструктивных исполнений:

- 1 – на лапах с подшипниками щитами (с пристроенным редуктором);
- 2 – на лапах с подшипниками щитами, с фланцем на подшипниковом щите (или щитах);
- 3 – без лап, с подшипниками щитами, с фланцем на одном подшипниковом щите (или щитах), с цокольным фланцем;
- 4 – без лап с подшипниками щитами, с фланцем на станине;
- 5 – без подшипниковых щитов;
- 6 – на лапах с подшипниками щитами и стояковыми подшипниками;
- 7 – на лапах со стояковыми подшипниками (без щитов);
- 8 – с вертикальным валом, кроме групп от IM1 до IM4;
- 9 – специального исполнения по способу монтажа.

Исполнения концов вала (концом вала называется его часть, выступающая за подшипник):

- 0 – без конца вала;
- 1 – с одним цилиндрическим;
- 2 – с двумя цилиндрическими;
- 3 – с одним коническим;
- 4 – с двумя коническими;
- 5 – с одним фланцевым;
- 6 – с двумя фланцевыми;
- 7 – с фланцевым со стороны привода и цилиндрическим на противоположной стороне;
- 8 – все прочие исполнения концов вала.

Надёжность электрических машин

Повышение надежности электрических машин — важная задача электротехнической промышленности. Увеличение срока службы и повышение надежности дают относительно больший народнохозяйственный эффект, чем снижение удельного расхода материалов при изготовлении электрических машин [6].

Для объектов в зависимости от назначения применяют различные показатели надежности. Различают восстанавливаемые и невосстанавливаемые объекты. Если нормативно-технической и конструкторской документацией предусмотрено проведение ремонта объекта, то он называется ремонтируемым. Неремонтируемые объекты работают до первого отказа, после чего их снимают с эксплуатации. Значительное число электрических машин малой мощности относятся к неремонтируемым объектам. Для различных видов электрических машин и условий эксплуатации основные понятия теории надежности — безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость —

имеют различную относительную значимость. Для неремонтируемых электрических машин основным показателем является безотказность. Для остальных машин большее значение имеет ремонтопригодность.

По условиям создания и работы объектов различают конструкционные, производственные и эксплуатационные отказы. Они характеризуют основные причины их возникновения: при конструировании — несовершенство или нарушение установленных норм и правил конструирования и проектирования, при производстве — нарушение или несовершенство установленного процесса изготовления или ремонта, при эксплуатации — нарушение установленных правил и условий эксплуатации.

Для оценки надежности неремонтируемых электрических машин используют вероятностную характеристику случайной величины — наработку до отказа Γ , под которой понимают наработку объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

Наиболее распространенными показателями долговечности электрических машин являются средний ресурс и средний срок службы. Средний ресурс — математическое ожидание ресурса. Ресурс — это суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние. Средний срок службы — математическое ожидание срока службы. Срок службы — календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

5. Проектирование асинхронных электродвигателей

В асинхронных машинах преобразование энергии происходит при несинхронном (асинхронном) вращении ротора и магнитного поля статора.

В двигательном режиме разница частот вращения ротора и поля статора в большинстве случаев невелика и составляет лишь несколько процентов. Поэтому частоту вращения ротора оценивают не в абсолютных единицах (об/мин или об/с), а в относительных, вводя понятие скольжения:

$$s = (n_c - n)/n_c,$$

где n_c — частота вращения поля (синхронная частота вращения); n — частота вращения ротора.

Скольжение выражается либо в относительных единицах ($s = 0,02; 0,025$ и т. п.), либо в процентах ($s = 2\%; 2,5\%$ и т. п.).

Частота тока и ЭДС, наводимая в проводниках обмотки ротора зависят от частоты тока и ЭДС обмотки статора и от скольжения:

$$f_2 = f_{1s}; E'_2 = E_{1s},$$

где E_1 — ЭДС обмотки статора; E'_2 — ЭДС обмотки ротора, приведенная к числу витков обмотки статора.

Для работы асинхронных машин со скольжениями, близкими к единице, в трансформаторном или тормозном режимах их рассчитывают с пониженными электромагнитными нагрузками. Примером использования асинхронных машин, номинальным режимом для которых является трансформаторный, могут служить индукционные регуляторы или фазовращатели.

Рабочие характеристики асинхронных двигателей (рис. 9.3) показывают, что наибольшего КПД правильно спроектированный двигатель достигает при нагрузке, на 15...20% меньше номинальной. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них из-за стандартной дискретной шкалы мощностей работают с недогрузкой.

Напомним, что наибольший КПД будет у двигателя при нагрузке, при которой постоянные не зависящие от тока потери (потери в стали, механические, вентиляционные) будут в сумме равны переменным, зависящим от тока, — электрическим потерям в обмотках двигателя (см. гл. 6). Это позволяет при проектировании направленным выбором плотности тока в обмотках и индукции на участках магнитопровода определить нагрузку, при которой КПД достигнет наибольшего значения.

Конструктивные исполнения асинхронных двигателей по способу монтажа соответствуют ГОСТ 2479. Наибольшее распространение получили группы исполнения IM2-IM4 (см. гл. 1), т.е. двигатели со станиной на лапах или с разного вида фланцами на станине или на подшипниковом щите. Среди двигателей малой мощности встречаются группы исполнения IM5 — машины без подшипниковых щитов и IM9 — машины специального исполнения, которые часто применяют как встроенные в различные механизмы, в ручной электрифицированный инструмент и т. п. Асинхронные двигатели мощностью более 1000 кВт, особенно с малой частотой вращения, часто выполняют с выносными подшипниками стойками — группа исполнения IM7 или IM8.

По степени защиты от воздействия окружающей среды наиболее характерны для двигателей малой и средней мощности исполнения IP44 и IP54 со способом охлаждения IC0141. Двигатели средней мощности выпускают также со степенью защиты IP23 и способом охлаждения IC01. Двигатели большой мощности на высокое напряжение часто имеют закрытое исполнение со встроенным воздушным или водяным охладителем, например с охлаждением по способу IC37A81.

Сердечники статоров и роторов всех асинхронных двигателей общего назначения шихтуют из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. При длине сердечника менее 250...300 мм они выполняются без вентиляционных каналов. При большей длине сердечники подразделяют на пакеты длиной 40...50 мм каждый. Между пакетами устанавливают дистанционные распорки, при этом образуются радиальные вентиляционные каналы, служащие для прохода охлаждающего воздуха. Ширина каналов в большинстве машин выполняется равной 10 мм. В собранной машине радиальные каналы статора и ротора располагаются напротив друг друга.

Статоры машин общего назначения напряжением до 660 В, мощностью до 100 кВт имеют трапециoidalные полузакрытые пазы с узким шлицем (см. рис. 3.4), размерные соотношения которых (ширину верхней и нижней частей и высоту паза) выполняют такими, чтобы зубцы статора имели параллельные стенки. Это уменьшает МДС зубцов по сравнению с зубцами с неравномерной площадью поперечного сечения. Обмотку таких машин выполняют из круглого провода.

В статорах машин большей мощности обмотку выполняют из прямоугольного провода, причем при напряжении, не превышающем 660 В, из подразделенных катушек. Пазы статора в таких машинах полуоткрытые (см. рис. 3.6, а), что позволяет избежать большой неравномерности индукции в воздушном зазоре. Обмотку укладывают в пазы, пропуская через суженный шлиц паза каждую из полукатушек поочередно.

В статорах машин с номинальным напряжением 3 кВ и выше и машин специального исполнения независимо от напряжения выполняют обмотку из жестких, изолированных до укладки в пазы катушек. Поэтому пазы таких машин делают только открытыми.

Конструкция крепления сердечника статора в корпусе зависит от габаритов и мощности машины. В большинстве машин малой мощности корпуса выполняют из алюминия, в некоторых конструкциях — заливкой алюминия на собранный сердечник статора. Подшипниковые щиты также алюминиевые. В машинах большей мощности и корпуса, и подшипниковые щиты чугунные. В машинах больших габаритов корпуса сварные из стальных листов, закрытые снаружи листовой сталью. Магнитопровод крепится к продольным ребрам корпуса.

6. Проектирование машин постоянного тока

Машины постоянного тока общего назначения выпускают серийно. Создание каждой новой серии представляет собой сложную научно-техническую и экономическую задачу, решение которой ведется на основе глубокого анализа тенденций развития электромашиностроения и прогнозов показателей технического уровня разрабатываемых машин, а также достижений в области проектирования и технологии. В серии должны быть учтены требования международной стандартизации и приняты рациональные принципы увязки мощностей с высотой оси вращения.

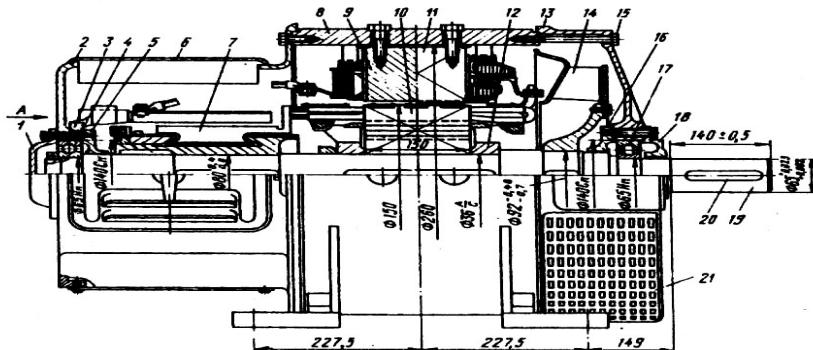
Первая общесоюзная серия машин постоянного тока была создана в 1956 г. Она была названа серией П. В этой серии впервые была установлена нормализованная шкала номинальных мощностей и номинальных частот вращения машин. Машины серии П состояли из трех групп конструктивно подобных отрезков серии: машины мощностью от 0,3 до 200 кВт (1—11-й габариты), машины мощностью 200—1400 кВт (12—17-й габариты) и машин мощностью свыше 1400 кВт (18—26-й габариты).

Габарит машины определяется диаметром якоря, который нормализован. Для каждого габарита устанавливают две длины сердечника. Исполнение двигателей единой серии П от 1-го до 11-го габарита по степени защиты соответствует IP22, по способу охлаждения - IC01 или IC05. Возбуждение смешанное. На рис. 11.1 приведена типичная для этой серии конструкция электрической машины.

Серия 2П, созданная к 1974 г., приблизительно через 20 лет после создания первой серии П, спроектирована в полном соответствии с рекомендациями Международной электротехнической комиссии (МЭК).

Эта серия машин имеет следующие особенности:

- принята единая шкала номинальных высот оси вращения машины;
- установочные размеры машины (рис. 11.2) однозначно увязаны с высотой оси вращения, но не определяются мощностью машины;
- для каждой высоты оси вращения приняты три значения длины, которым соответствуют три обозначения длины станины; S — для коротких, M — средних и L — длинных машин.



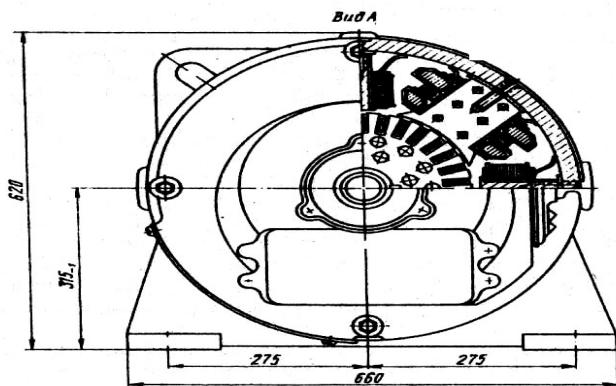


Рис. 11.1. Машина постоянного тока типа П-92:

1, 5, 16, 18 – крышки подшипников; 2 – передний щит; 3 – траверса; 4 – шарикоподшипник; 6 – крышка подшипникового щита; 7 – коллектор; 8 – станина; 9 – добавочный полюс; 10 – якорь; 11 – главный полюс; 12 – шайба на валу; 13 – задний щит; 14 – вентилятор; 15 – болт; 17 – роликоподшипник; 19 – вал; 20 – шпонка; 21 – жалюзи

7. Проектирование силовых трансформаторов

Трансформатор – статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока.

Принято различать трансформаторы малой мощности с выходной мощностью до 5 кВА для трехфазных сетей и силовые трансформаторы с выходной мощностью от 5 кВА и выше.

Навитая магнитная система, использованная в проекте, позволила уменьшить массу используемой электротехнической стали, и улучшить характеристики холостого хода. Герметизированная конструкция бака с волнами позволила отказаться от громоздких радиаторов, которые значительно увеличивали бы габариты трансформатора, и от расширителя, тем самым сэкономить на трансформаторном масле.

Современные способы изготовления витых магнитопроводов позволяют значительно сэкономить на их сборке. В настоящее время начинается применение лазеров в резке электротехнической стали. Исследования Бухановой И.Ф., Дивинского В.В и Журавеля В.Э – сотрудников НПЦ «Лазертерм» АО ВНИИЭТО – показали, что «одним из самых перспективных бесконтактных методов уменьшения потерь на перемагничивание анизотропной электротехнической стали, является лазерная обработка поверхности. При локальном лазерном нагреве в поверхностных слоях материала создаются термические напряжения, изменяющие характер доменной структуры в зонах, прилегающих к лазерной дорожке. Разработанный экологически чистый технологический процесс обработки поверхности электротехнической стали излучением непрерывного СО₂-лазера позволяет обрабатывать трансформаторную сталь без нарушения изоляционного покрытия и создания дополнительных механических напряжений». Затраты на новую технологию окупятся на заводе менее чем за год, при увеличении стоимости трансформатора на 5%. При этом покупатель получает трансформатор немного дороже аналогичного, но более выгодного в эксплуатации. За первый же год эксплуатации покупатель экономит на электроэнергии сверх той суммы, что он переплатил за более современный трансформатор.

Краткое описание конструкции трансформатора. Главной частью трансформатора является, так называемая, активная часть, включающая в себя магнитопровод и обмотки. Обмотки служат для трансформации электрической энергии в энергию магнитного поля.

Магнитопровод служит для передачи энергии магнитного поля. Активная часть полностью погружена в трансформаторное масло, служащее изолятором и теплоотводом. Активная часть зафиксирована в баке при помощи подъемных шпилек. Бак полностью герметичен, масло заливается под вакуумом. Структура стенок бака позволила отказаться от расширителя масла. На баке установлены вводы – проходные изоляторы, для подключения нагрузки и сети. Внутри активной части расположено устройство ПБВ, переключатель которого находится на крышке бака. Также на крышке расположены коробка выводов, для подключения устройств автоматики, таких как термодатчик и мановакуумметр; пробка для заполнения маслом. Внизу бака имеется пробка для слива масла и зажим заземления. Ко дну бака приварены швеллеры с переставными катками, для транспортировки и установки трансформатора.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа № ЛР-1 (4 часа).

Тема: Вывод в ремонт ВЛ-110 кВ Пугачевская-Аэропорт 1ц.

2.1.2 Задачи работы:

Ознакомиться и изучить устройство и принцип действия электронного тренажера «Вывод в ремонт ВЛ-110кВ Пугачёвская - Аэропорт 1ц».

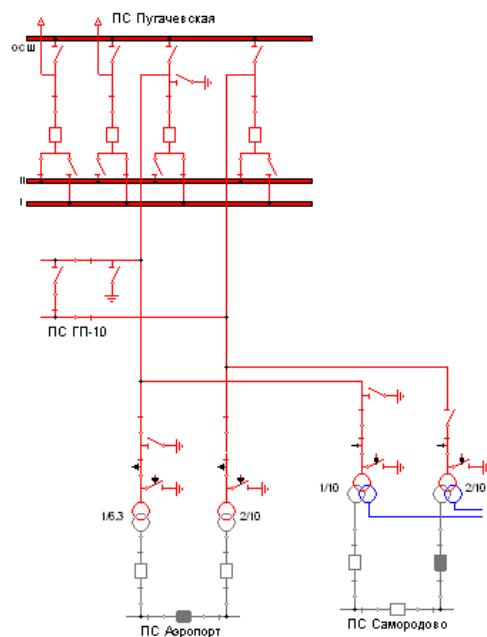
Составить отчет по проделанной работе.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Лабораторный стенд «Электроэнергетика» ЭЭ1-ОРСК-С-К

Персональный компьютер IBM (1 Гб – ОЗУ, частота 2,5 МГц, Н 70 Гб)

2.1.4 Описание (ход) работы:



1. Включен СВ-10кВ на ПС Аэропорт
2. Отключен В-10кВ Т-1 на ПС Аэропорт
3. Включен В-10кВ Т-2 на ПС Самородово

4. Отключен В-10кВ Т-1 на ПС Самородово
5. нагрузка на трансформатор, подключенный к ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 2ц (ПС ГП-10)
6. Отключен В ВЛ-110кВ Аэропорт 1ц на ПС Пугачёвская
7. Снят оперативный ток с привода В ВЛ-110кВ Аэропорт 1ц на ПС Пугачёвская
8. Проверено отключенное положение В ВЛ-110кВ Аэропорт 1ц на ПС Пугачёвская
9. Осмотрены изоляторы ЛР ВЛ-110кВ Аэропорт 1ц на ПС Пугачёвская
10. Отключен ЛР ВЛ-110кВ Аэропорт 1ц на ПС Пугачёвская
11. Повешен плакат "Не включать - работа на линии" (ЛР ВЛ-110кВ Аэропорт 1ц на ПС Пугачёвская)
12. изоляторы ЛР ВЛ-110кВ Пугачёвская 1ц на ПС Аэропорт
13. Отключен ЛР ВЛ-110кВ Пугачёвская 1ц на ПС Аэропорт
14. Повешен плакат "Не включать - работа на линии" (ЛР ВЛ-110кВ Пугачёвская 1ц на ПС Аэропорт)
15. Проверено отсутствие напряжения (ЗН на ЛР ВЛ-110кВ Пугачёвская 1ц в сторону Т-1 на ПС Аэропорт)
16. Включен ЗН на ЛР ВЛ-110кВ Пугачёвская 1ц в сторону Т-1 на ПС Аэропорт
17. Осмотрены изоляторы ЛР ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 1ц на ПС Самородово
18. Отключен ЛР ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 1ц на ПС Самородово
19. Повешен плакат "Не включать - работа на линии" (ЛР ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 1ц на ПС Самородово)
20. Осмотрены изоляторы ЛР ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 1ц на ПС ГП-10
21. Отключен ЛР ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 1ц на ПС ГП-10
22. Повешен плакат "Не включать - работа на линии" (ЛР ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 1ц на ПС ГП-10)
23. Проверено отсутствие напряжения (ЗН на ЛР в сторону ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 1ц на ПС ГП-10)
24. Включен ЗН на ЛР в сторону ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 1ц на ПС ГП-10
25. Проверено отсутствие напряжения (ЗН на ЛР в сторону ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 1ц на ПС Самородово)
26. Включен ЗН на ЛР в сторону ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 1ц на ПС Самородово
27. Проверено отсутствие напряжения (ЗН на ЛР в сторону ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 1ц на ПС Пугачёвская)
28. Включен ЗН на ЛР в сторону ВЛ-110кВ Пугачёвская-Аэропорт 1ц на ПС Пугачёвская

2.1.5 Результаты и выводы:

Результаты выполнения задания оформляются в рабочей тетради и делаются соответствующий вывод.

2.2 Лабораторная работа № ЛР-2 (4 часа).

Тема: «Отключить и заземлить транзитную линию Л7 10кВ для продления работ на линии.»

2.2.2 Задачи работы: Ознакомиться и изучить устройство и принцип действия электронного тренажера «Отключить и заземлить транзитную линию Л7 10кВ для продления работ на линии».

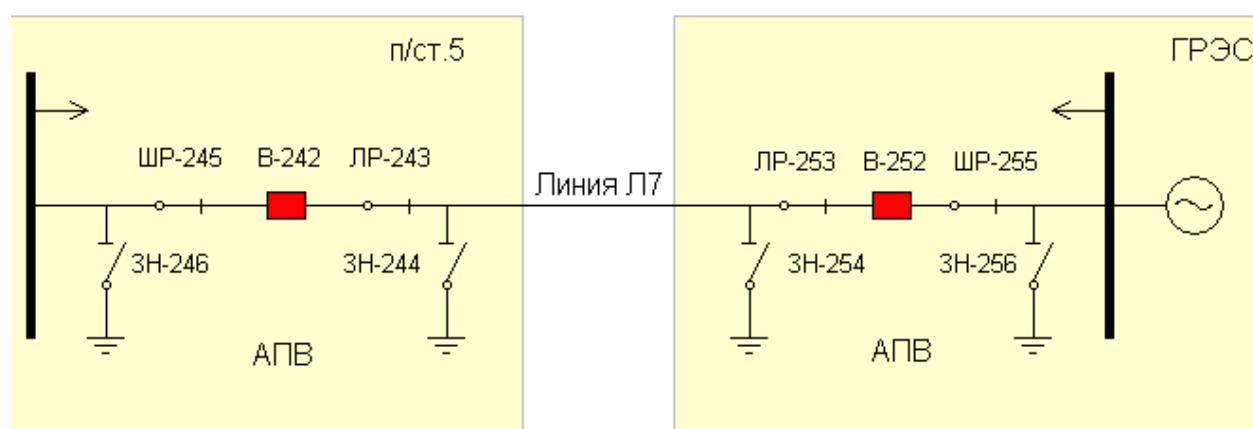
Составить отчет по проделанной работе.

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Лабораторный стенд «Электроэнергетика» ЭЭ1-ОРСК-С-К

Персональный компьютер IBM (1 Гб – ОЗУ, частота 2,5 МГц, Н 70 Гб)

2.2.4 Описание (ход) работы:



1. Получено распоряжение у диспетчера на производство оперативных переключений
2. Записано задание в оперативный журнал
3. Составлен бланк переключений
4. Получено разрешение у диспетчера на производство переключений по бланку переключений
5. Отключен ключ АПВ Л7 на ГРЭС
6. Отключен выключатель В-252 Л7
7. Проверено отключенное положение В-252 Л7
8. Отключен ключ АПВ Л7 на п/ст.5
9. Отключен выключатель В-242 Л7
10. Проверено отключенное положение В-242 Л7
11. Проверено состояние колонок изоляторов линейного разъединителя LP-243
- Л7 п/ст.5
12. Отключен линейный разъединитель LP-243 Л7 п/ст.5
13. Открыта дверца нижнего отсека КСО п/ст.5
14. Закрыта дверца нижнего отсека КСО п/ст.5
15. Проверено состояние колонок изоляторов линейного разъединителя LP-253
- Л7 ГРЭС
16. Отключен линейный разъединитель LP-253 Л7 ГРЭС
17. Открыта дверца нижнего отсека КСО ГРЭС
18. Закрыта дверца нижнего отсека КСО ГРЭС
19. Действие: "Убедиться в исправности индикатора"
20. Открыта дверца нижнего отсека КСО ГРЭС

21. Проверено отсутствие напряжения (ЛР-253 Л7 ГРЭС в сторону Л7, (1))
22. Проверено отсутствие напряжения (ЛР-253 Л7 ГРЭС в сторону Л7, (2))
23. Проверено отсутствие напряжения (ЛР-253 Л7 ГРЭС в сторону Л7, (3))
24. Закрыта дверца нижнего отсека КСО ГРЭС
25. Включены заземляющие ножи ЗН-254 ЛР-253 Л7
26. Проверено включенное положение заземляющих ножей ЗН-254 ЛР-253 Л7
27. Действие: "Убедиться в исправности индикатора"
28. Открыта дверца нижнего отсека КСО п/ст.5
29. Проверено отсутствие напряжения (ЛР-243 Л7 п/ст.5 в сторону Л7, (1))
30. Проверено отсутствие напряжения (ЛР-243 Л7 п/ст.5 в сторону Л7, (2))
31. Проверено отсутствие напряжения (ЛР-243 Л7 п/ст.5 в сторону Л7, (3))
32. Закрыта дверца нижнего отсека КСО п/ст.5
33. Включены заземляющие ножи ЗН-244 ЛР-243 Л7
34. Проверено включенное положение заземляющих ножей ЗН-244 ЛР-243 Л7
35. Сделана запись в оперативный журнал
36. Доложено диспетчеру об окончании оперативных переключений

2.2.5 Результаты и выводы:

Результаты выполнения задания оформляются в рабочей тетради и делаются соответствующий вывод.

2.3 Лабораторная работа № ЛР-3(4 часа).

Тема: «Вывод в ремонт трансформатора N1, 16 МВА при нормальной схеме ПС Кувандыкская.»

2.3.2 Задачи работы:

Ознакомиться и изучить устройство и принцип действия электронного тренажера «Вывод в ремонт трансформатора N1, 16 МВА при нормальной схеме ПС Кувандыкская».

Составить отчет по проделанной работе.

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

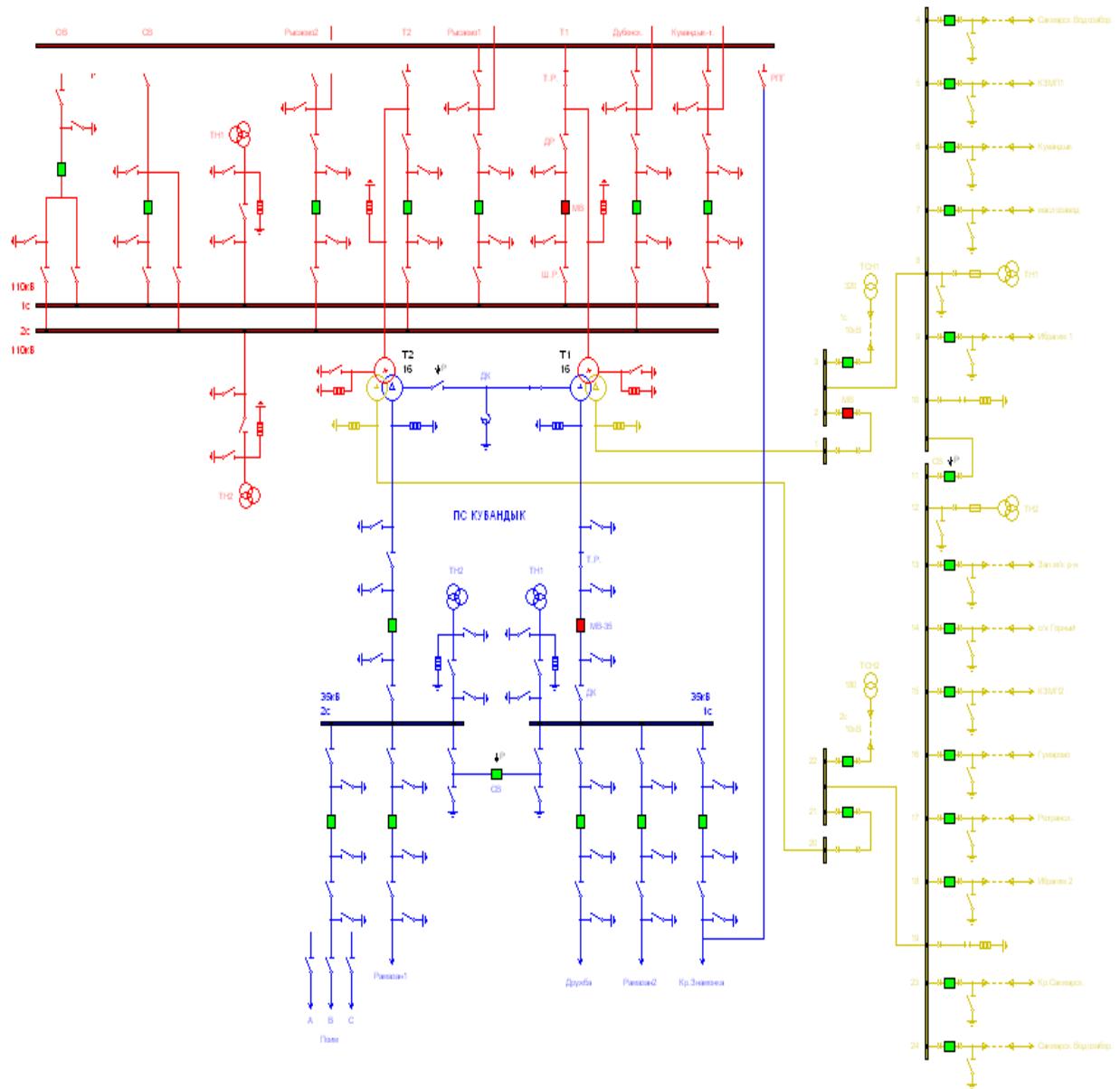
Лабораторный стенд «Электроэнергетика» ЭЭ1-ОРСК-С-К

Персональный компьютер IBM (1 Гб – ОЗУ, частота 2,5 МГц, Н 70 Гб)

2.3.4 Описание (ход) работы:

1. Сделана запись в оперативном журнале
2. Команда (распоряжение) бр.эл.монтеров по экспл. распределителей до 1000В: "Выполнить коммутационные операции"
3. Проверено отсутствие замыкания на "землю" (линия 35 кВт-ра Т1)
4. Осмотрена колонка изолятора (разъединитель ДК 35кВ Т1)
5. Отключен разъединитель ДК 35кВ Т1
6. Проверено отключенное положение разъединитель ДК 35кВ Т1
7. Перестроен разъединитель ДК 35кВ Т1
8. Осмотрена колонка изолятора (разъединитель ДК 35кВ Т2)
9. Включен разъединитель ДК 35кВ Т2
10. Проверено включенное положение разъединитель ДК 35кВ Т2
11. Включен выключатель СВ-35 кВ
12. Проверено наличие нагрузки на выключатель СВ-35 кВ
13. Отключен выключатель МВ-35 кВт-ра Т1
14. Вывешен плакат "Не включать! Работают люди" (выключатель МВ-35 кВт-ра Т1)
15. Проверено отсутствие нагрузки на выключатель МВ-35 кВт-ра Т1
16. Выведен выключатель АВР-10кВ
17. Включен выключатель СВ-10кВ

18. Проверено наличие нагрузки на выключатель СВ-10кВ
 19. Отключен МВ 10 кВ Т1
 20. Вывешен плакат "Не включать! Работают люди" на МВ 10 кВ Т1
 21. Проверено отсутствие нагрузки на МВ 10 кВ Т1
 22. Отключен выключатель МВ-110кВ Т1
 23. Вывешен плакат "Не включать! Работают люди" (выключатель МВ-110кВ
 Т1)
 24. Проверено отключенное положение МВ 10 кВ Т1
 25. Тележка МВ 10 кВ Т1 выкачена в ремонтное положение
 26. Вывешен плакат "Не включать! Работают люди" на МВ 10 кВ Т1
 27. Тележка разъединитель 10 кВ Т1 выкачена в ремонтное положение
 28. Отключен рубильник в цепи соленоида включения МВ (выключатель МВ-
 35 кВтр-ра Т1)
 29. Проверено отключенное положение выключатель МВ-35 кВтр-ра Т1
 30. Осмотрена колонка изолятора (Т.Р. 35кВ тр-ра N1)
 31. Отключен Т.Р. 35кВ тр-ра N1
 32. Проверено отключенное положение Т.Р. 35кВ тр-ра N1
 33. Вывешен плакат "Не включать! Работают люди" на Т.Р. 35кВ тр-ра N1
 34. Сняты предохранители в цепи соленоида включения МВ (выключатель
 МВ-110кВ Т1)
 35. Проверено отключенное положение выключатель МВ-110кВ Т1
 36. Осмотрена колонка изолятора (Т.Р. 110кВ Т1)
 37. Отключен Т.Р. 110кВ Т1
 38. Проверено отключенное положение Т.Р. 110кВ Т1
 39. Вывешен плакат "Не включать! Работают люди" на Т.Р. 110кВ Т1
 40. Проверено отключенное положение Ш.Р. ОСШ-110кВ Т1
 41. Вывешен плакат "Не включать! Работают люди" на Ш.Р. ОСШ-110кВ Т1
 42. Проверено отсутствие напряжения на Т.Р. 110кВ Т1 в сторону тр-ра
 43. Установлено П.З. (линия 110 кВтр-ра Т1)
 44. Проверено отсутствие напряжения на Т.Р. 35кВ тр-ра N1 в сторону тр-ра
 45. Включены ЗН тр-ра на Т.Р. 35кВ тр-ра N1
 46. Проверено включенное положение ЗН тр-ра на Т.Р. 35кВ тр-ра N1
 47. Вывешен плакат "Заземлено" на Т.Р. 35кВ тр-ра N1
 48. Проверено отсутствие напряжения (линия 10 кВтр-ра Т1)
 49. Установлено П.З. (линия 10 кВтр-ра Т1)
 50. Вывешен плакат "Заземлено" на МВ 10 кВ Т1
 51. При сливе масла действие газовой защиты переведено на сигнал (тр-р Т1)
 52. Сделана запись в оперативном журнале



2.3.5 Результаты и выводы:

Результаты выполнения задания оформляются в рабочей тетради и делаются соответствующий вывод.

2.4 Лабораторная работа № ЛР-4 (4 часов).

Тема: «Нахождение повреждения на ТП-315 кабельной разделки КЛ-6кВ л. 1-4 в ст. ГПП ТРЗ.»

2.4.2 Задачи работы:

Ознакомиться и изучить устройство и принцип действия электронного тренажера «Повреждение на ТП-315 кабельной разделки КЛ-6кВ л. 1-4 в сторону ГПП ТРЗ».

Составить отчет по проделанной работе.

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

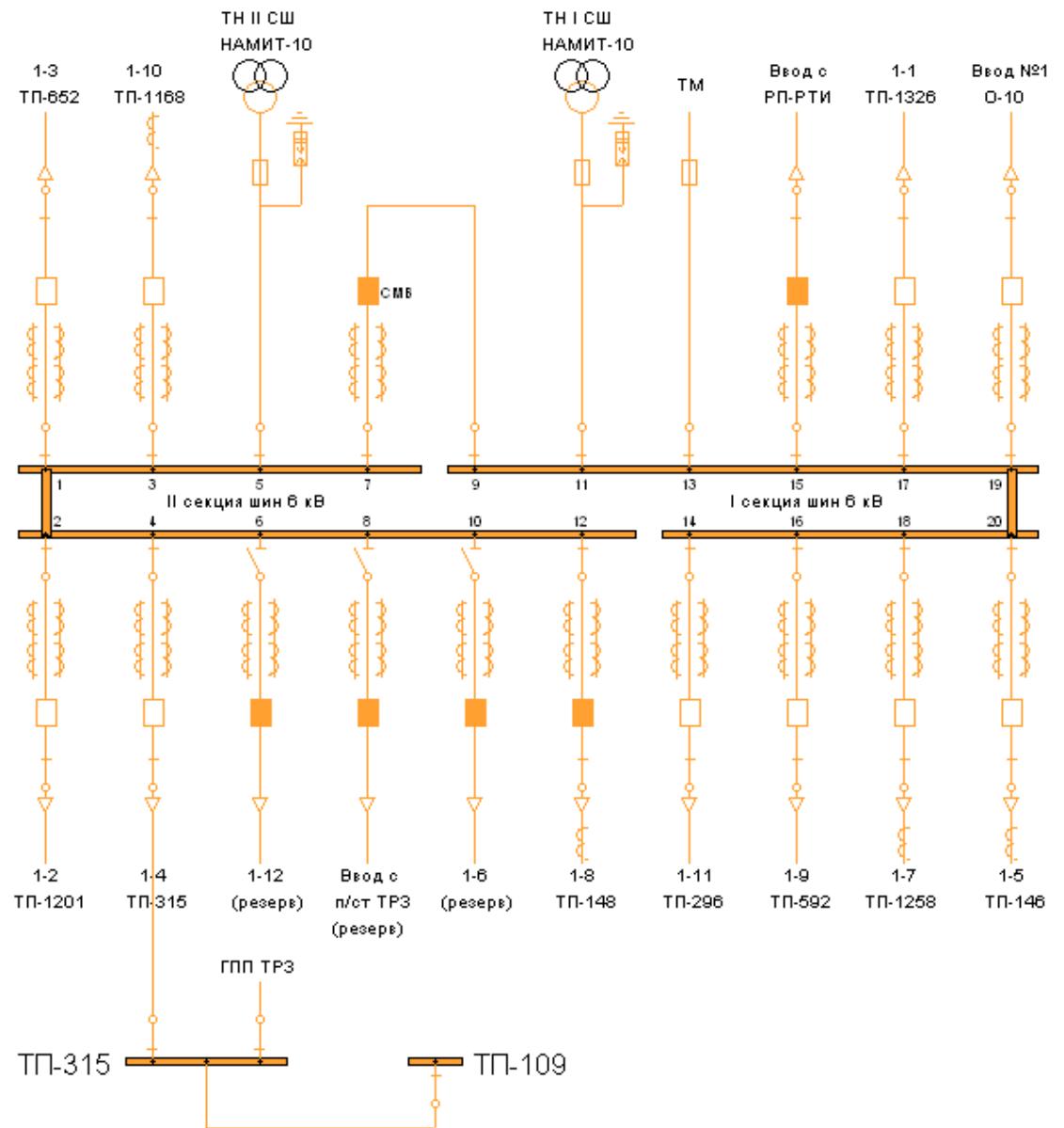
Лабораторный стенд «Электроэнергетика» ЭЭ1-ОРСК-С-К

Персональный компьютер IBM (1 Гб – ОЗУ, частота 2,5 МГц, Н 70 Гб)

2.4.4 Описание (ход) работы:

1. Действия - Прочие: "Направить ОВБ ОГЭС на РП-1"
2. Действия - Запросить: "дежурного электрика ГПП ТРЗ о состоянии МВ л.46."
3. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС"
4. Отключен МВ л.1-4 на РП-1
5. Действия - Сообщить: "руководству, ДПГ МЭС, ДПГ ЦЭС, ДПГ ОТС ТГК, ДПГ ЦДС, «005», нач. ЦРЭС об отключении на ГПП ТРЗ МВ л.46"
6. Действия - Запросить: "дежурного электрика ГПП ТРЗ в яч. МВ л.46 откл. ЛР, ШР"
7. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС"
8. Отключен МВ л.1-2 на РП-1
9. Действия - Сообщить: "ДПГ ОТС ТГК об отключении МВ л.1-11 на РП-1"
10. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС"
11. Отключен МВ л.1-11 на РП-1
12. Действия - Запросить: "ДПГ МЭС на пс О откл. МВ л.О-1"
13. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС на ТП-36 вкл. РВ в стор. ТП-129 без напряжения"
14. Действия - Запросить: "ДПГ МЭС на пс О вкл. МВ л. О-1"
15. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС"
16. Включен СМВ-6кВ на РП-1
17. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС"
18. Включен МВ л.1-2 на РП-1
19. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС"
20. Отключен ЛР в яч. л.1-4 на РП-1
21. Отключен ШР в яч. л.1-4 на РП-1
22. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС"
23. Отключен РВ в стор. РП-1 л.1-4 на ТП-315
24. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС на ТП-315 испытать КЛ-6кВ в стор. РП-1 л.1-4 мегомметром"
25. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС"
26. Отключен РВ в стор. ТП-315 на ТП-109
27. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС на ТП-315 испытать КВЛ-6кВ в стор. ГПП ТРЗ мегомметром"
28. Действия - Сообщить: "начальнику ПрРЭС место повреждения на КВЛ-6кВ от ТП-315 до ГПП ТРЗ, нужна вышка и бригада эл. монтёров"
29. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС"
30. Установлено ПЗ РВ в стор. ГПП ТРЗ на ТП-315
31. Действия - Прочие: "Разрешить бригаде ПрРЭС по наряду на КВЛ-6кВ от ТП-315 до ГПП ТРЗ отсоединить жилы КЛ от ВЛ от оп.№25 в стор. ТП-315"
32. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС"
33. Снято ПЗ РВ в стор. ГПП ТРЗ на ТП-315
34. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС на ТП-315 испытать КЛ-6кВ мегомметром"
35. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС"
36. Установлено ПЗ РВ в стор. ГПП ТРЗ на ТП-315
37. Действия - Дать распоряжение: "ОВБ ОГЭС"
38. Включен РВ в стор. ТП-315 на ТП-109
39. Действия - Запросить: "дежурного ГПП ТРЗ вкл. ШР, ЛР, МВ л.-46"
40. Действия - Сообщить: "руководству, ДПГ ЦЭС, ДПГ МЭС, ДПГ ЦДС, ДПГ ОТС ТГК, «005» о том, что все потребители запитаны"

РП-1 6кВ



2.4.5 Результаты и выводы:

Результаты выполнения задания оформляются в рабочей тетради и делаются соответствующий вывод.