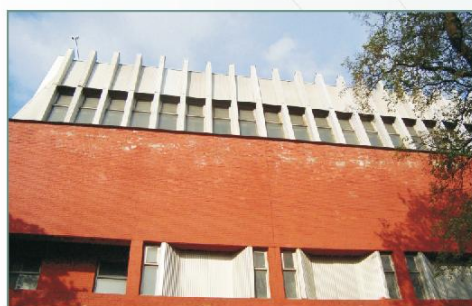




СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦАФК

ЭДМ расположена в отдельном лабораторно-технологическом корпусе НИИПТ, общей площадью 2700 м², занимает 3 основных этажа и 2 кабельных полуэтажа корпуса. На первом этаже находится машинный зал, в котором сосредоточены модельные агрегаты:

- синхронные машины с приводными двигателями, моделирующие генераторы и первичные двигатели;
- асинхронные машины, моделирующие нагрузку энергосистемы;
- активные сопротивления — модели активной нагрузки.



Лабораторно-технологический корпус



Панели генераторов и нагрузок

На втором этаже расположены модели трансформаторных подстанций, линий электропередачи, установок, моделирующих шины бесконечно большой мощности.

В зале третьего этажа размещены высоковольтный и низковольтный коммутационные щиты, щит управления всей электродинамической модели.

МОДЕЛЬНЫЕ СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

Располагаемый парк модельных синхронных машин содержит 66 установок с номинальными мощностями 1,5, 2, 3, 5, 10, 15 и 30 кВт·А.

Номинальное напряжение статора модельных машин — 230 В, номинальная скорость вращения 1000–3000 об./мин. От стандартной машины малой мощности модельная отличается специальной геометрией сердечников статора и ротора и габаритной мощностью, которая у модельных машин в несколько раз превышает натуральную. Это дает возможность выдерживать длительные нагрузки по току и напряжению без повреждения оборудования и, кроме того, облегчает настройку параметров (x_d , x'_d , x''_d , T_{d0} , кривая намагничивания), обеспечивая их соответствие натурным. Возможность моделирования различных типов генераторов (гидро или турбо) и синхронных компенсаторов обеспечивается необходимым запасом сменных роторов, при этом подгонка механической инерционной постоянной агрегата осуществляется путем подбора и установки на вал ротора сменных дисков.



Генераторы и первичные двигатели



Особенно удобны для целей моделирования разработанные в НИИПТ агрегаты в обращенном исполнении, у которых трехфазная сетевая обмотка расположена на вращающемся роторе, а обмотка возбуждения на статоре. Подгонка моделируемых параметров у таких машин осуществляется рядом разнообразных приемов: изменением воздушного зазора между ротором и полюсами; путем набора сменных прокладок между ярмом и полюсом; изменением положения стальных стержней в специальных отверстиях ярма полюсов; с помощью специальных магнитных шунтов в шлицах пазов демпферной обмотки, расположенной на статоре.

Большое разнообразие систем возбуждения синхронных машин моделируется исходя из соответствия наиболее важных в данном случае параметров: постоянной времени контура возбуждения (T_{d0}) и кратностей форсировки и расфорсировки возбуждения. Для настройки T_{d0} модельных синхронных машин применяются разработанные в НИИПТ системы компенсации избыточных активных сопротивлений обмоток. Эффект достигается введением в контур возбуждения добавочной ЭДС, пропорциональной току возбуждения и обратной по знаку падению напряжения в активном сопротивлении контура.

Различные типы автоматических регуляторов возбуждения моделируются с помощью разработанного и изготавливаемого в НИИПТ унифицированного аналогового блока. Модель допускает использование нескольких каналов регулирования с переменными коэффициентами усиления: для системы пропорционального регулирования — по отклонению напряжения статора и по току статора; для системных стабилизаторов — дополнительно по производной напряжения статора, отклонению и производной частоты напряжения на выводах и по производной тока ротора. Регулятор содержит устройства форсировки и расфорсировки, действующие при достижении напряжением статора установочных максимальных и минимальных значений, а также дополнительные входы для реализации различных программных воздействий от устройств защиты и противоаварийной автоматики.

ЭДМ допускает включение натуральных устройств, в частности, промышленных регуляторов возбуждения различных типов.

МОДЕЛИ ПЕРВИЧНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Для правильного отображения длительных переходных процессов (от 1 с и более) на ЭДМ необходимо обеспечить подобие характеристик



Генераторы и первичные двигатели

первичного двигателя со всеми его системами автоматического регулирования, правильно учесть величину резерва мощности, его размещение и способ реализации, а также (в отдельных случаях) переходные процессы в паровых котлах и их системах автоматического регулирования (САР). Моделирование гидравлических и паровых турбин, котлов и их систем регулирования обеспечивается на ЭДМ электродвигателями постоянного тока, источниками питания которых служат регулируемые тиристорные преобразователи с соответствующими системами управления, являющимися, по существу, аналоговыми моделями котла, турбины и их САР.



В НИИПТ разработаны и установлены на ЭДМ унифицированные аналоговые устройства — «модель энергоблока» трех модификаций — от наиболее полной до предельно упрощенной. Полная модель энергоблока описывается нелинейной системой дифференциальных уравнений 14-го порядка и правильно отображает:

- все основные постоянные времени турбины, котла и их САР;
- нелинейности турбины и ее САР, в том числе несимметрию хода клапанов, а также характеристики хода клапанов частей высокого и среднего давления в зависимости от сигналов управления;
- зону нечувствительности САР к изменению частоты (скорости вращения);
- величину резерва мощности (ограничения);
- соотношение мощностей частей высокого, среднего и низкого давления;
- наличие промежуточного перегрева пара;
- возможность воздействия на энергоблок по различным каналам от защиты и противоаварийной автоматики.

Имеется на ЭДМ и специализированный аналоговый блок, моделирующий гидротурбину. Подробная модель гидротурбины описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений 8-го порядка и воспроизводит ее моментно-скоростную характеристику, характеристики регулятора скорости, а также учитывает переходные процессы в трубопроводе (гидравлический удар).

МОДЕЛИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Имеющиеся в составе ЭДМ 150 модельных силовых трансформаторов позволяют отобразить любые заданные характеристики повысительных и понизительных трансформаторных подстанций.

Практически все модельные трансформаторы выполнены однофазными, двухстержневыми, двухобмоточными, открытыми, с воздушным охлаждением. Изменение индуктивного сопротивления трансформаторов достигается либо несимметричным расположением обмоток, либо с помощью специального магнитного шунта. Трехфазные группы большинства модельных трансформаторов имеют номинальную мощность 6 и 20 кВ·А. Первая предназначена для синхронных машин 3–5 кВ·А, вторая — для машин 15 кВ·А и выше. Номинальные напряжения всех трансформаторов одинаковы — 220–127/1024 В. Обмотки ВН имеют 36 выводов, обмотки НН — 8 выводов. Это позволяет в широких пределах изменять коэффициент трансформации. В конструкции приняты меры для снижения потерь в стали и тока холостого хода. Суммарная величина активных потерь в номинальном режиме работы трансформатора не превышает 2%.

МОДЕЛИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

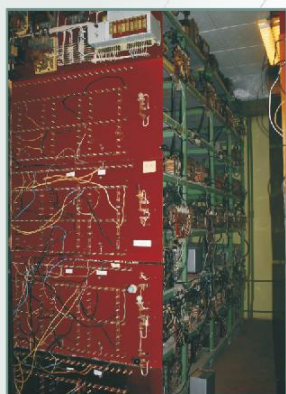
Каждая фаза трехфазной линии электропередачи моделируется одной или несколькими ячейками, представляющими П-образные схемы замещения, составленные из обладающих необходимой добротностью катушек самоиндукции и конденсаторов. Таких ячеек на ЭДМ — 700, что позволяет воспроизвести высоковольтную системообразующую и распределительную сеть большой сложности.



Тиристорные преобразователи



При исследовании электромеханических переходных процессов в сети 50 Гц вполне достаточная точность обеспечивается моделированием одной ячейкой отрезков линии длиной до 250 км. Выбором соответствующих масштабов определяется номинальное напряжение модели линии. Ориентировочно можно указать, что при моделировании высоковольтных линий 1 В модели соответствует 1 кВ природы. Эксперименты на ЭДМ НИИПТ выполняются для сетей высокого напряжения до 1150 кВ при правильном воспроизведении нормальных и аварийных (симметричных и несимметричных) режимов различных типов линий электропередачи: одноцепных, двухцепных, с грозозащитным тросом и без него, линий повышенной пропускной способности, компактных, настроенных и т. п.



Линии электропередачи

МОДЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В состав модели линий постоянного тока и преобразовательных подстанций входят следующие элементы:

- 20 двухмостовых двенадцатифазных тиристорных преобразователей. Максимальное выпрямленное напряжение полюса преобразователя — 2,5 кВ, максимальный рабочий ток — 10 А;
- 20 групп силовых трансформаторов с секционированными обмотками. Номинальная мощность трансформатора — 6,67 кВ·А, номинальное напряжение сетевой обмотки — 500 В, номинальное напряжение обмотки, питающей мост — 720 В;
- 20 линейных реакторов стержневого типа со съемным ярмом, предназначенных для моделирования пяти ячеек линии постоянного тока;
- набор реакторов и конденсаторов, позволяющий моделировать индуктивности полюсов и «земли», взаимные и собственные емкости проводов;
- 20 наборов трехфазных фильтров, настроенных на 5, 11, 13-ю гармоники и широкую полосу;
- 20 быстродействующих регуляторов тиристорных преобразователей. Каждый из регуляторов включает в себя подсистемы регулирования выпрямленного тока, минимального тока и углов погасания тиристорных инверторных мостов. Регулятор осуществляет взаимодействие с системой автоматики и управления преобразовательного блока, центральным регулятором мощности (при моделировании сети постоянного тока) и системой измерений на стороне постоянного и переменного тока;



Передачи постоянного тока,
ШР, УПК, СТК, СТАТКОМ



Заведующий экспериментально-исследовательским сектором Мичурин Н. А.



— 40 наборов исполнительных устройств, преобразующих выходные импульсы управления в режимные параметры, необходимые для управления тиристорами мостов.

МОДЕЛИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

В состав ЭДМ входят 166 узлов электрической нагрузки, состоящей из комбинаций асинхронно-двигательной нагрузки, активных шунтов и выпрямительной. Такой набор позволяет отобразить любые заданные статические и динамические нагрузочные совокупности.

Силовая часть агрегатов нагрузки выполнена в двух вариантах:

— асинхронные двигатели мощностью 20, 14, 10, 7, 4,5 кВт (30 шт.) имеют на валу генератор постоянного тока, отдающий мощность либо в сеть через тиристорный инвертор (рекуперация), либо через коммутатор однофазных сопротивлений на активные сопротивления. Выбором соответствующей настройки САР тиристорного инвертора обеспечиваются заданные характеристики электрической нагрузки;

— двигатели мощностью менее 4,5 кВт (50 шт.) работают также совместно с генераторами постоянного тока, которые отдают мощность активным сопротивлениям.

При необходимости некоторые синхронные машины могут быть использованы для моделирования синхронной нагрузки. Узлы нагрузки имеют дополнительные силовые коммутаторы, предназначенные для выбора активных сопротивлений, присоединяемых к данному узлу нагрузки.

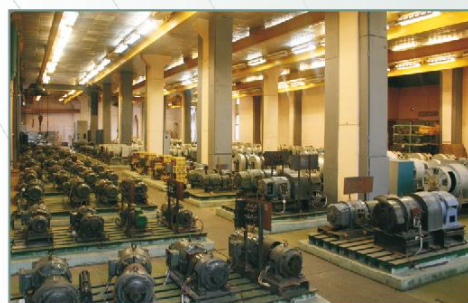
КОММУТАЦИОННЫЕ ЩИТЫ

Силовая схема модели энергосистемы собирается на коммутационных щитах, на которые выведены кабели от узлов модельных генераторов, трансформаторов, линий и узлов нагрузки. Количество силовых связей от моделей линий индивидуально для моделей сетей конкретных энергосистем.

Коммутационные щиты и кабельные связи, оборудованные разъемами, позволяют просто собирать любые схемы энергосистем без прокладки каких-либо временных кабельных перемычек.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЦАФК

На щите управления расположены устройства управления и контроля, позволяющие экспериментатору устанавливать расчетный режим исследуемого энергообъединения, изменять его в желаемом направлении, создавать расчетную аварийную ситуацию, обеспечивать определенную последовательность действий автоматических устройств по ее ликвидации, а также устройств, моделирующих мероприятия системной автоматизации, действующей в послеаварийном режиме.



Модели нагрузки



Зал управления ЦАФК



Система управления ЦАФК выполнена двухуровневой. Станционный (подстанционный) уровень составляют генераторные и нагрузочные панели управления, с помощью которых производится запуск всех агрегатов, синхронизация генераторов и синхронных компенсаторов, включение нагрузок.



*Выставление исходного режима.
Старший научный сотрудник
Гущина Т. А.*

Выставление расчетного режима производится на системном уровне управления со специальных пультов, на которых сосредоточены органы управления возбуждением и скоростью генераторов и лабораторные приборы для измерения скорости вращения, фазового угла роторов генераторов, напряжения на их зажимах и на шинах станций, активной и реактивной мощности, вырабатываемых станциями, и перетоков мощности по линиям электропередачи. Для удобства органы управления и приборы контроля модели каждой станции размещены на отдельных стандартных блоках, которые соединены со схемой с помощью гибких кабелей на разъемах и, будучи установленными на лабораторных столах, образуют системный пульт управления ЭДМ. Для управления коммутационными

аппаратами по заданной временной программе (короткие замыкания, автоматическое повторное включение и т. п.) используются электронные программирующие устройства, обеспечивающие возможность исполнения большого числа команд с точным заданием времени с дискретностью 0,01 с.

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТА

- предназначена для записи электрических сигналов, их просмотра и дальнейшей обработки с помощью персонального компьютера (ПК);
- включает устройство ввода, ПК с платой ЦАП–АЦП и программу цифрового осциллографирования;



*Цифровой осциллограф.
Испытания проводят
инженеры Кузьмина А. А., Кабанов Д. А.*

- обеспечивает:

- одновременность записи входных сигналов по 32 аналоговым каналам и их гальваническую развязку от ПК и друг от друга (относительная погрешность каждого из каналов при измерении переменных и постоянных сигналов — не более 1%);

- задание периода опроса входных сигналов (от 0,125 мс) и длительности опроса;

- синхронизацию частоты опроса с частотой сети исследуемой схемы;

- возможность просмотра и последующей обработки как всего процесса, так и отдельных его частей и явлений с помощью специальной компьютерной программы.