Особенности режимных тренажеров диспетчера энергосистем, разработанных в России, Европе и США

Р.Л. Тян, В.П. Будовский

ЗАО «Монитор Электрик» - ОАО «СО ЕЭС»

Введение

Развитие электроэнергетики и лавинообразный рост вычислительной мощности ЭВМ конца двадцатого века создал предпосылки к появлению специального типа программного обеспечения под названием «режимный тренажер диспетчера энергосистем» или «режимный тренажер диспетчера» (РТД).

Назначением этого программного обеспечения является моделирование переходных процессов различной интенсивности, протекающих в электроэнергетической системе, в целях обучения и/или тренировки оперативно-диспетчерского персонала диспетчерских центров. Требования к качеству моделирования в РТД зависит от широкого ряда факторов, в том числе и от вычислительных возможностей используемых ЭВМ, а так же функциональных обязанностей оперативно-диспетчерского персонала.

В настоящей статье сделана попытка сопоставить функциональность указанного типа тренажёров, которые нашли применение в России и за рубежом.

Режимные тренажеры можно классифицировать по многим признакам. Однако наиболее характерными являются: состав моделируемого оборудования и процессов, методология и программные средства поддержки процесса тренировки, информационная платформа.

В РТД, как правило, не учитывают быстротечные электромагнитные процессы в сети, характерные, например, для начальных этапов коротких замыканий. Не учитываются и волновые процессы. Принято учитывать те процессы, которые может наблюдать и на которые в состоянии оказать влияние диспетчер. Быстро протекающие процессы учитываются лишь тогда, когда отказ от их учёта делает модель несостоятельной или (что реже) усложняет модель.

Можно выделить три группы процессов, каждый из которых характеризуется своим характерным частотным спектром.

Электромагнитные переходные процессы, связаны с магнитными контурами электрических машин (трансформаторов, синхронных генераторов, компенсаторов и электродвигателей). Эти переходные процессы характеризуются постоянными времени меньше 5 мс.

Электромеханические переходные процессы со спектром частот от 0.5–10Гц. Поведение ЭЭС на этих частотах определяется в основном вращающимися массами роторов первичных двигателей и электрических машин, электромагнитными цепями электрических машин, системами возбуждения генераторов.

Медленные процессы в гидро- и теплосиловом оборудовании. Характерное время отклика оборудования этого типа – единицы и десятки секунд.

Сверхмедленные процессы. Они характерны для ЦАРЧМ, динамики сработки водохранилищ. Эти процессы могут растягиваться на долгие минуты.

Ключевым звеном для РТД является математическая модель: от того какие явления, процессы она учитывает, зависит вычислительная производительность и трудоёмкость инжиниринга данных.

Режимные тренажеры России

Рассмотрим, находящиеся в эксплуатации на постсоветском пространстве, РТД «Феникс», ПК «Ретрен», РТД «Финист».

Характерной особенностью этих тренажеров является тот факт, что основной акцент в инструментарии и методологии поставлен на тренировке диспетчерского персонала и поддержании его должной квалификации. Это связано со спецификой диспетчерского управления в России и странах ближнего зарубежья. Роль и ответственность диспетчера здесь чрезвычайно высока, что делает необходимым и актуальным высокую квалификацию диспетчерского персонала и ее поддержание на этом уровне.

Специфика российского подхода к обучению и тренировке диспетчерского персонала делает приоритетными следующие требования к РТД:

1. Режимный тренажер должен эксплуатироваться на модели энергосистемы диспетчерского центра.
2. Работа в режиме тренировки должна в максимальной степени походить на каждодневную работу диспетчерского персонала.
3. Наличие возможности моделировать широкое видовое разнообразие аварий высокой сложности.

В РТД данной группы можно выделить ряд общего моделируемого оборудования и некоторый общий функционал:

- Двух-обмоточные трансформаторы, не включая фазосдвигающие трансформаторы.
- Высоковольтные линии электропередач.
- Коммутационные аппараты.
- Потребители должны описываться статическими характеристиками по напряжению и частоте.

- Первичный двигатель.
- Синхронный генератор, как минимум, с обобщённым регулятором возбуждения.
- Неуправляемые шунтирующие реакторы и БСК.
- Универсальные автоматики с логическими условиями пуска.
- Поддержка сценариев.

А также сравнительно просто выделяется общий спектр моделируемых переходных процессов:

- Электромагнитные с постоянными времени меньше 5,
- Электромеханические,
- Длительные и сверхдлительные.

По мнению авторов, эти списки являются некоей программой минимумом, реализовать которую должны все РТД, пригодные для промышленной эксплуатации

Режимный тренажер диспетчера «Феникс»

РТД «Феникс» [1] предназначен для проведения противоаварийных тренировок оперативного персонала объединений энергосистем, энергосистем и электрических сетей. Данный тренажер был разработан Сибирским филиалом ГВЦ Энергетики в 90-х годах прошлого века.

РТД «Феникс» моделирует необходимые переходные процессы, однако электромеханические моделируются качественно.

Для решения дифференциальных уравнений, применён метод Рунге-Кутты 2-го порядка точности с постоянным шагом интегрирования. Для решения проблем численной устойчивости в РТД «Феникс» есть возможность задания пользователем размера шага интегрирования в пределах 0.01–0.5с.

Для ускорения расчётов на этапах длительных переходных процессов система уравнений упрощается, шаг интегрирования увеличивается на порядок, и примерно во столько же раз снижается трудоёмкость расчётов на фиксированном интервале времени.

Для расчёта потокораспределения во время начальной балансировке режима применяется комбинация методов Зейделя и метода квазиньютоновской процедуры, матрица Якоби которой не учитывает зависимость небалансов активной мощности от уровней напряжения, а реактивной мощности – от фаз напряжения (fast decoupled loadflow), а по ходу тренировки используется только метод Зейделя. Расчет потокораспределения ведется в форме баланса мощностей. Несимметричные режимы тренажёр не воспроизводит.

Моделируемое оборудование и некоторый функционал отличные от минимального списка:

- Потребитель. Потребители описываются статическими характеристиками по напряжению и частоте. Однако, отсутствует возможность задать отдельные статические характеристики для разных потребителей.
- Коммутационные аппараты. Только выключатели.
- Всего одна универсальная модель первичного двигателя.

Технологический предел расчетного модуля РТД «Феникс» - схемы размерностью 1500-2000 расчетных узлов. Технологический предел графической системы отображения – схемы коммутационного уровня суммарной размерностью 15000-20000 шин.

При расчете нет возможности использования нескольких ядер процессора.

РТД «Феникс» имеет собственную систему отображения и может устанавливаться как самостоятельный комплекс. Также в комплекс входит интерфейс для подготовки исходных данных, интерфейс управления тренировкой и интерфейс для редактирования исходных данных.

Формат хранения данных оборудования – собственный.

Для интеграции со сторонними системами отображения РТД «Феникс» использует свой собственный протокол, основанный на файловом способе хранения.

С 2000 по 2005 г. РТД «Феникс» эксплуатировался в более чем 60 центрах диспетчерского управления компании ОАО «СО ЕЭС».

В настоящее время этот комплекс эксплуатируется в нескольких филиалах компании ОАО «ФСК ЕЭС».

Программный комплекс «Ретрен»

Комплекс разработан НТЦ «Электроэнергетики» [2,3] как интегрированная многофункциональная система, решающая ряд важных задач оперативного управления режимом энергообъединения в масштабе реального времени. К ним относятся задачи обучения оперативно-диспетчерского персонала, оценки тяжести текущего режима, проверки надежности режимов ЭЭС и энергообъединений при выводе в ремонт основного оборудования, проверки возможных действий оперативного персонала и ряд других.

Решение системы дифференциальных уравнений проводится с применением неявной схемы интегрирования. На каждом шаге интегрирования решается нелинейная система уравнений сети в форме баланса токов. Эта система решается итерационно, причем на каждой итерации система уравнений сети линеаризуется для решения методом Гаусса с треугольной факторизацией матрицы проводимости. При решении уравнений сети в матрицу проводимости, перед факторизацией (после любой

коммутации), в диагональные элементы матрицы вносятся поправочные коэффициенты, которые затем учитываются в векторе токов. Несимметричные режимы тренажёр не воспроизводит.

Моделируемое оборудование и некоторый функционал отличные от минимального списка:

- Потребитель. Присутствуют модели синхронных и асинхронных двигателей. Есть возможность задания случайной компоненты нагрузки.
- Первичный двигатель. Турбины для регулируемого и нерегулируемого котлов.
- Котел. Регулируемый, нерегулируемый.
- АРЧМ.
- Поддержка режимных ограничений и сигнализация при их нарушении.

Заявленный предел расчетного модуля ПК «Ретрен», при расчете в режиме реального времени - схемы размерностью 1000-1500 расчетных узлов. При расчете отсутствует возможность использовать несколько ядер процессора.

ПК «Ретрен» имеет собственную систему отображения и может устанавливаться как самостоятельный комплекс.

Формат хранения данных по оборудованию – собственный.

Интеграция со сторонними системами отображения только по собственному протоколу.

В настоящее время этот комплекс используется в нескольких филиалах компании ОАО «ФСК ЕЭС».

Режимный тренажер диспетчера «Финист»

Режимный тренажер диспетчера «Финист» [2-9] компании ЗАО «Монитор Электрик» представляет собой многофункциональный программный комплекс, предназначенный для подготовки оперативно-диспетчерского персонала электроэнергетических систем. В основу РТД «Финист» положена динамическая модель ЭЭС. Считается, что все элементы обладают пофазной симметрией, и поэтому расчёты ведутся для прямой последовательности.

Для решения системы дифференциальных уравнений используется явные методы Рунге-Кутты и явный метод предиктор-корректор переменного порядка, основанный на методе Адамса и учитывающий жёсткость уравнений [9]. Шаг интегрирования в модели быстрой динамики – 17 мс, медленной динамики – переменный от 34 до 200 мс.

Дифференциальные и алгебраические уравнения решаются поочерёдно. При этом решение алгебраических уравнений эквивалентно расчёту режима в сети.

В РТД «Финист» применяется подход, при котором для моделирования разных типов переходных процессов используется различные динамические модели [7]. Если процессы протекают вяло, то взаимными качаниями роторов синхронных машин можно пренебречь, считая ускорение и скорости всех машин едиными в каждой из синхронных зон. Для воссоздания перед диспетчером поведения энергосистемы при спокойном развитии событий можно отказаться и от описания динамики регулирования возбуждения синхронных машин. Эти процессы быстротечны, и можно считать, что характеризующие их переменные успевают меняться синхронно с медленными процессами изменения частоты, состояния первичных двигателей и систем управления расходом энергоносителя в них. Когда же переходные процессы интенсивны, эти упрощения неприемлемы.

В то же время, учёт и индивидуальных скоростей роторов и процессов в системах возбуждения резко увеличивают вычислительную сложность задачи, что может приводить к невозможности моделирования в реальном темпе процессов в системе, содержащей несколько тысяч расчетных узлов. Это делает необходимым использование в тренажёре одновременно двух моделей: упрощенной, где это возможно, и полной, когда без неё нельзя.

В упрощенной модели (для длительных переходных процессов) нелинейные уравнения режима в форме баланса мощностей решаются с заданной точностью на каждом шаге интегрирования. При этом строго учитываются режимные ограничения генерирующих узлов по реактивной мощности, статические тиристорные компенсаторы и статические характеристики нагрузки. Для решения используется метод Ньютона-Гаусса в специализированной системе координат [6], представляющую собой разновидность полярных координат.

В полной динамической модели (в интенсивных переходных процессах) на каждом шаге интегрирования нелинейные уравнения режима в форме баланса токов решаются Z-методом с частичным учётом проводимости нагрузки в матрице узловых проводимостей [7].

Несимметричные режимы тренажёр не воспроизводит.

Отличия в видах моделируемого оборудования[1] от рассмотренных выше РТД:

- Многообмоточные трансформаторы, в том числе и фазосдвигающие.
- Коммутационные аппараты, в том числе выключатели и разъединители.
- Заземляющие ножи.
- Потребители. Есть возможность учесть индивидуальные статические характеристики, случайную составляющую (как и в Ретрене), и

[1] В версиях для разных рынков список моделируемого оборудования и функционал может отличаться

графиков потребления, плавный набор мощности по команде, экспоненциальный набор мощности по мере “разогрева”.

- Собственные нужды электростанций.
- Гидроэлектростанции, в том числе и гидроаккумулирующие. Водохранилища.
- Тепловые электростанции.
- Атомные электростанции.
- Энергоблоки ТЭС, ГЭС, АЭС.
- Котлы. Регулируемые, нерегулируемые.
- Газотурбинные установки.
- Синхронные генераторы с возможностью задания PQ-диаграмм.
- ЦАРЧМ.
- Коммутируемые ШР и БСК. Статические тиристорные компенсаторы.
- Дорасчеты, в том числе и небаланса с коррекцией по частоте для области регулирования.
- Поддержка сценариев, включая средства их создания из протокола тренировки.
- Поддержка широкого списка противоаварийных автоматик.
- Поддержка режимных ограничений и сигнализация при их нарушении.
- Поддержка межуровневых тренировок для использования в иерархических компаниях-операторах.
- Поддержка мобильно реконфигурируемого класса для проведения обучения, а не тренировок.

Заявленный технологический предел расчетного модуля 10000 расчетных узлов. Расчетный модуль адаптирован для использования многопроцессорных систем.

РТД «Финист» имеет собственную систему отображения и подготовки данных, что дает ему возможность устанавливаться как самостоятельный комплекс.

Формат хранения данных по оборудованию – CIM (IEC61970-IEC61968). Интеграция со сторонними системами по протоколам IEC61970-404 (HSDA), IEC870-5-104, IEC61970-403 (GDA).

В настоящее время комплекс был внедрен и активно эксплуатируется в компании ОАО «СО ЕЭС», а также в РУП ОДУ Беларуси.

Надо отметить, что РТД «Финист» используется при проведении международных противоаварийных тренировок с целью отработки взаимодействия диспетчерского персонала диспетчерских центров энергосистем СНГ и Балтии по предотвращению развития и ликвидации нарушений нормального режима национальных энергосистем, затрагивающих технологические режимы работы объектов энергетики в операционных зонах нескольких государств.

Режимные тренажеры Европы и США

Специфика оперативно-диспетчерского управления во многих странах Европы и в Северной Америке заключается в том, что роль диспетчеров в управлении электроэнергетической системой и в ликвидации последствий не столь высока, как в России. Степень интегрированности системных операторов существенно ниже, их полномочия более локальны и ограничены. Следствием является более частый переход локальных аварий в масштабные системные отключения с разделением системы на независимые синхронные зоны.

В США, как правило, оперативно-диспетчерский персонал не имеет высшего энергетического образования. И компании вынуждены делать акцент на обучение азам, основам. Очень часто работа ведётся на типовой учебной схеме, далеко не всегда адаптированной к конкретным местным условиям.

Ввиду этого, для режимных тренажеров можно выделить две ниши: первичное обучение персонала на оператора электроэнергетических систем

(с выдачей соответствующей лицензии) и использование тренажера как некоего механизма-симулятора для предварительной отработки того или иного воздействия оператора на режим энергосистемы и для создания инструкций.

Нужно отметить, что хотя функционал тренажеров из этих двух групп во многом пересекается друг с другом, однако различия в требованиях для этих ниш определяет не только программную архитектуру комплексов и степень интеграции, но и требования к расчетному модулю тренажера.

Приоритетные требования к тренажеру для сертификации персонала:

1. Наличие собственной системы отображения и подготовки данных.
2. Наличие учебной энергосистемы с обширной номенклатурой оборудования.
3. Многообразие видов моделируемых аварий.

Характерным представителем этого типа тренажеров является программный комплекс «EPRI OTS» от американского научно-исследовательского электроэнергетического института (Electric Power Research Institute).

Требования к тренажеру, имитирующему оперативную обстановку в диспетчерском центре:

1. Работа с моделью реальной энергосистемы.
2. Глубокая интеграция в SCADA-систему компании-оператора.
3. Достоверность моделирования поведения энергосистемы, позволяющая верно воссоздавать последствия действий диспетчеров или операторов в реальной оперативной обстановке.

Практически любая западная компания занимающаяся разработкой EMS/DMS приложений для электроэнергетического рынка имеет свой

собственный, глубоко интегрированный в поставляемую платформу режимный тренажер.

В качестве примера приведем два характерных представителя указанных семейств тренажёров.

Тренажёр «EPRI OTS»

Он используется для подготовки операторов и инженеров диспетчерских центров в следующих направлениях: получение основных сведений о поведении энергосистемы; основные функции оператора в нормальных и аварийных ситуациях; ликвидация аварий различной степени сложности; работа в команде при ликвидации серьезных аварий и восстановлении энергосистемы.

ПК «EPRI OTS» [10] моделирует лишь длительные и сверхдлительные переходные процессы.

Ключевой особенностью является предположение о тождественности скоростей всех синхронных машин. Это не позволяет воссоздать, например, асинхронный ход.

Дифференциальные и алгебраические уравнения решаются поочерёдно. Дифференциальные уравнения решаются неявным методом трапеций 2-го порядка точности. Минимальный шаг интегрирования равен 1 сек.

Основой расчёта потокораспределения в ПК «EPRI OTS» является ньютоновская процедура решения системы уравнений. В последней версии комплекса реализованы три метода, построенные на линеаризации уравнений режима:

- Fast decoupled loadflow в однофазном варианте;
- Метод Ньютона в 1-фазном варианте;
- Метод Ньютона в 3-фазном варианте.

Моделируемое оборудование и некоторый функционал:

- Моделируются только двух-обмоточные трансформаторы. В том числе и фазосдвигающие.
- Высоковольтные линии электропередач.
- Потребители. Есть возможность описания потребителя с помощью статических характеристик, случайной составляющей и графиков потребления. Собственные нужды электростанций.
- Коммутационные аппараты.
- Гидроэлектростанции, в том числе и гидроаккумулирующие. Водохранилища.
- Тепловые электростанции.
- Атомные электростанции.
- Энергоблоки ТЭС, ГЭС, АЭС.
- Котлы. Регулируемые, нерегулируемые.
- Газотурбинные установки.
- Синхронные генераторы с возможностью задания PQ-диаграмм.
- ЦАРЧМ.
- Неуправляемые шунтирующие реакторы и БСК. Коммутируемые ШР и БСК. Управляемые ШР. Статические тиристорные компенсаторы.
- Вставки постоянного тока.
- Поддержка сценариев. В том числе и эвристический построитель сценариев.
- Поддержка широкого списка противоаварийных автоматик и ряд типовых реле.
- Поддержка режимных ограничений и сигнализация при их нарушении.

Основа математического описания медленной динамики ЭЭС была разработана General Electric EPRI в конце 70-х годов. Программно она была реализована в начале 80-х годов прошлого века в университете штата Аризона. Продукт поставлялся многими компаниями: ABB, DSI, Incremental Systems, NSR, Siemens, Telegyr, Transdyn Con-trols. СУБД Тренажёра и

расчётное ядро разрабатывалась на Фортране-77. С тренажером поставляется небольшая (67 расчетных узлов) учебная энергосистема. Существует возможность импорта данных по стандарту CIM (IEC61970-IEC61968). Есть возможность интеграции со сторонними системами по протоколу ICCP.

Тренажер «EPRI OTS» является самым распространенным тренажерным комплексом в США, используемым преимущественно для лицензирования операторов энергосистем.

Тренажер «Fast DTS»

Тренажер, созданный компаниями «ABB» и «Tractebel Engineering» [11], позиционируется как тренажер с высокой точностью моделирования. Вкладом со стороны «ABB» послужила платформа «Network Manager™», обладающая мощной базой данных, средствами обучения и инфраструктурой. В основу расчётной модели был положен режимный имитатор Eurostag [12].

Спектр моделируемых переходных процессов динамической модели ПК «Fast DTS» не отличается от других режимных тренажеров диспетчера, за исключением ПК «EPRI OTS».

Алгебро-дифференциальные уравнения динамики решаются не поочерёдно, а совместно, с использованием А-устойчивого неявного метода. Для решения обычно используется квазиньютоновская процедура (матрица Якоби формируется и факторизуется не на каждой итерации, и не на каждом шаге интегрирования). Предусмотрена альтернативная возможность решать линеаризованную систему уравнений итеративно – методом GMRES, основанным на разложении вектора невязок по базису Крылова.

Использованный метод решения алгебро-дифференциальных уравнений страхует от иллюзорной неустойчивости решения, но это достигается за счёт резкого роста вычислительной сложности алгоритма.

Шаг интегрирования фиксирован (10–40 мс). Возможен расчет несимметричных режимов.

Состав типов оборудования, моделируемый данным режимным тренажером:

- Трансформаторы, в том числе и фазосдвигающие.
- Высоковольтные линии электропередач.
- Потребители. Есть возможность описания потребителя с помощью статических характеристик и графиков потребления.
- Коммутационные аппараты.
- Энергоблоки ТЭС, ГЭС, АЭС, эквивалентные энергоблоки.
- Котлы. Регулируемые, нерегулируемые.
- Газотурбинные, парогазовые установки, дизельные генераторы.
- Синхронные генераторы с возможностью задания PQ-диаграмм.
- Неуправляемые шунтирующие реакторы и БСК. Коммутируемые ШР и БСК.
- Поддержка сценариев.
- Поддержка широкого списка устройств релейной защиты и противоаварийных автоматик.
- Поддержка режимных ограничений и сигнализация при их нарушении.

Учебная энергосистема с тренажером не поставляется. Технологический предел расчетного модуля составляет 200 генераторов и 2000 электрических шин. Это составляет приблизительно 1000 расчетных узлов.

Ввиду того, что тренажер поставляется на платформе «Network Manager™» компании «ABB» интеграция со SCADA системами этой компании анонсируется изначально и степень этой интеграции чрезвычайно высока. Впрочем, тренажёр может поставляться и отдельно.

Заключение

Сравнительные характеристики рассмотренных РТД приведены в табл.1.

Рассмотренные в данной статье режимные тренажеры, ориентированные на разные рынки и разные требования, в целом, обладают рядом общих особенностей:

1. Обязательность моделирования длительных переходных процессов.
2. Отказ от моделирования быстрых электромагнитных процессов в сети.
3. Возможность представить в модели большую часть оборудования реальной энергосистемы.
4. Наличие механизма исполнения сценариев.

Другие особенности рассмотренных тренажеров варьируются в зависимости от дополнительной функциональной направленности конкретного комплекса.

В ряду представленных тренажеров выделяется тренажер «EPRI OTS» за чрезвычайно широкий список моделируемого оборудования и тренажер «Fast DTS» за гибкие средства конструирования регуляторов и потенциально высокую точность и достоверность моделирования.

Однако каждый из данных комплексов имеет ряд существенных недостатков:

- Тренажер от американского научно-исследовательского электроэнергетического института практически не моделирует электромеханические переходные процессы – величина шага интегрирования более 1 секунды. Это ограничивает область применения данного программного комплекса тренировкой и обучением персонала диспетчерского центра только в

Сравнительные характеристики режимных тренажеров диспетчера Таблица 1

№	РТД	Метод решения уравнений динамики	Вид уравнений узловых напряжений	Метод расчета установившегося режима	Технологический предел расчетного модуля	Возможность использования многоядерного процессора	Формат хранения данных оборудования	Возможность интеграции с другими системами
1	Феникс	Рунге-Кутты 2-го порядка	В форме баланса мощностей	комбинация методов Зейделя и квазиньютоновской процедуры	~2000 расчетных узлов	Нет	Собственный	Собственный файловый протокол
2	РЕТРЕН	Неявная схема интегрирования	В форме баланса токов	методом Гаусса с треугольной факторизацией матрицы проводимости	~1500 расчетных узлов	Нет	Собственный	Собственный протокол
3	Финист	Явные методы Рунге-Кутты и явный метод предиктор-корректор переменного порядка, основанный на методе Адамса	Для длительных процессов в форме баланса мощностей	метод Ньютона-Гаусса в логарифмической системе координат	~10000 расчетных узлов	Да	CIM (IEC61970-IEC61968)	По протоколам IEC61970-404 (HSDA), IEC870-5-104, IEC61970-403 (GDA)
			Для интенсивных процессов в форме баланса токов	Z-методом				
4	EPRI OTS	Неявный метод трапеций 2-го порядка (моделируются только длительные переходные процессы)	Нет сведений.	Ньютоновская процедура (fast decoupled loadflow)	Нет данных	Нет	CIM (IEC61970-IEC61968)	По протоколу ICCP
5	Fast DTS	А-устойчивый неявный метод	Совместное решение системы алгебро-дифференциальных уравнений	Совместное решение системы алгебро-дифференциальных уравнений	~1000 расчетных узлов	Нет данных	Собственный файловый формат	Поддержка стандарта CIM не заявлена

нормальных режимах. Моделирование переходных процессов в тяжелых режимах, при такой величине шага интегрирования, дает только качественный и не всегда верный результат.

- Тренажер от «ABB» и «Tractebel» несмотря на более надежный способ расчета системы алгебро-дифференциальных уравнений имеет очень маленький список моделируемого оборудования и серьезные ограничения на размерность схемы. При этом присутствует то же самое упрощение и пренебрежение к электромагнитным переходным процессам, характерное для других тренажеров - величина шага интегрирования более 10 мс.
- Основными характерными чертами российских тренажеров являются классическая «последовательная» схема решения алгебро-дифференциальной системы уравнений, отсутствие возможности расчета несимметричных режимов, а также отсутствие требований глубокой интеграции в систему заказчика. Можно сказать, что основные российские режимные тренажеры изначально проектировались как отдельные программные комплексы.

_____ Р.Л. Тян

_____ В.П. Будовский

Список литературы

1. Воронин В.Т. Режимные тренажеры, как средство обеспечения надежной работы оперативного персонала. // Оперативное управление в энергетике. №1, 2005, С.39-45.
2. Рабинович М.А., Моржин Ю.И., Парфенов Д.М. Многофункциональный тренажер-советчик диспетчера с динамической моделью энергообъединения. Электрические станции. 1994. № 9. С.33-39.
3. Рабинович М.А. Моржин Ю.И., Потапенко С.П. и др. Анализ режима ЭЭС в тренажере-советчике РЕТРЕН. 1-я международная научно-практическая конференция «Современные тренажерно-обучающие комплексы и системы», Партенит, 2005.
4. Режимный тренажер диспетчера Финист, (http://www.monitel.ru/download/Finist.pdf).
5. Тян Р.Л., Карасев Е.Д. Будовский В.П. Проблемы моделирования энергосистем в режимных тренажёрах диспетчера. // Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды международной научно-технической конференции: сборник статей. В 3 т. Самара: СамГТУ, 2011. т.1. ISBN 975-5-7964-1469-9.
6. Е.Д.Карасёв, Р.Л.Тян. Логарифмические полярные координаты для расчёта режима электрической сети процедурами ньютоновского типа. Системы компьютерной математики и их приложения. Материалы

международной конференции. Вып.11. Смоленск: СГПУ, 2010. ISBN 978-5-88018-445-3.

7. Е.Д.Карасёв, Р.Л.Тян Адаптация расчета режима сети к разнотемповости процессов в энергосистеме для режимного тренажера диспетчера Финист. – Оперативное управление в электроэнергетике, 2011, №6.
8. Р.Л. Тян, Е. Д. Карасев, В.П. Будовский. Проблемы расчета потокораспределения при моделировании переходных процессов в электроэнергетических системах, - Электрические станции, 2012, № 7.
9. Р.Л. Тян, Е. Д. Карасев, В.П. Будовский. Расчеты режима в диспетчерских тренажёрах. – Электромеханика, 2012, №4.
10. EPRI Operator Training Simulator, (http://www.dsipower.com/Software/EPRI-OTS/tabid/1879/Default.aspx).
11. Dispatcher training simulator, (http://www.fp7-pegase.com/training-simulator.php)
12. Eurostag and associated products, (http://www.eurostag.be).
13. ABB Group Automation and Power Technologies (http://www02.abb.com/global/gad/gad02077.nsf/lupLongContent/EA23E866DCFA3186C1257012002AEE7F, http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/5f731751b5e543aac1257089002440e6/$file/p62-65.pdf)

14. Gissinger S., Chaumes P.,Antoine J.-P., Bihain A. «An Advanced Dispatcher Training Simulator» - Computer Applications in Power, IEEE (Volume:13 , Issue: 2, page 25-30), 2000г, ISSN 0895-0156