

# НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

АВТОРЫ:

К. СИДВОЛ,  
RTDS TECHNOLOGIES

Ф.А. ИВАНОВ,  
ЗАО «ЭНЛАБ»

**С**ложность современных энергосистем постоянно увеличивается, что связано с появлением на рынке новых генерирующих компаний, ростом распределенной генерации, внедрением низкоинерционных систем, работающих в параллельном режиме

инверторных преобразователей, а также с возрастающими рисками, включая кибернетические угрозы. Все это происходит на фоне возрастающего всеобщего взаимодействия разнообразных интеллектуальных устройств объектов современной электроэнергетики.

**Ключевые слова:** RTDS; Novasog; моделирование энергосистем; силовая электроника; интерфейс Аугога; волновые защиты; гибридное моделирование больших энергосистем; симуляция на ПЛИС.



Самый крупный в мире комплекс моделирования на базе RTDS, расположенный в NARI Group Corp. (NARI) (Китай)

## ВВЕДЕНИЕ

Единственная на Земле искусственная система, которая может быть сложнее, чем существующие энергосистемы (ЭС), — это энергосистема завтрашнего дня. В современной электроэнергетике сформировалась потребность не только в высокосложных устройствах защиты, управления, мониторинга и визуализации, но также в инструментах тестирования, которые с высокой достоверностью воспроизводят бы процессы в ЭС. Их использование позволяет своевременно оценивать влияние изменений в ЭС и обнаруживать особенности работы, которые могли бы остаться незамеченными при типовых методиках проверки.

Ранее для изучения ЭС и испытаний устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) использовались аналоговые симуляторы [1]. Они представляли собой выполненные в меньшем масштабе физические модели компонентов ЭС и по своей природе работали в режиме реального времени, что позволяло подключать к модели любые физические устройства и обеспечивать испытательную среду с замкнутой обратной связью. Это давало возможность изучать в широком диапазоне частот переходные процессы в ЭС. Аналоговым симуляторам был присущ ряд недостатков: большие размеры и сложность моделирования, высокие начальные эксплуатационные расходы и др. Но так как только симуляция в реальном времени давала возможность проводить моделирование с включением в обратную связь аппаратных средств, то с указанными недостатками приходилось мириться.

В конце 1980-х гг. компьютерные технологии достигли производительности, достаточной для моделирования в режиме реального времени с применением только численных методов. Компания

RTDS Technologies стала первой, изготовившей цифровой симулятор реального времени RTDS (Real Time Digital Simulator), в котором были совмещены гибкость и точность цифрового моделирования со способностью подключения к реальным устройствам РЗА. С тех пор вслед за ростом производительности вычислительных систем значительно расширились возможности цифрового моделирования: увеличилась гибкость построения моделей, их сложность и количество воспроизводимых компонентов. Симуляторы RTDS широко используются сотнями пользователями из разных стран, включая Россию: ведущими мировыми производителями электрооборудования, энергокомпаниями, университетами и исследовательскими институтами. Они применяются в различных областях, таких как разработка и производство устройств и комплексов РЗА, подключение распределенных систем генерации с возобновляемыми источниками энергии к основной ЭС, интеграция оборудования

для цифровых подстанций (ПС), разработка систем глобального мониторинга и устройств РЗА на новых принципах работы, обеспечение кибербезопасности важных объектов инфраструктуры и многое другое.

В настоящей статье рассматриваются усовершенствования симуляторов RTDS, которые были реализованы за последние 2–3 года.

## SUBSTEP — НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Симуляторы RTDS получили абсолютно новую среду вычислений Substep, отличающуюся от ранее известной среды с малым шагом

## ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОМИНАЛЬНОГО И МАЛОГО ШАГА РАСЧЕТА SUBSTEP

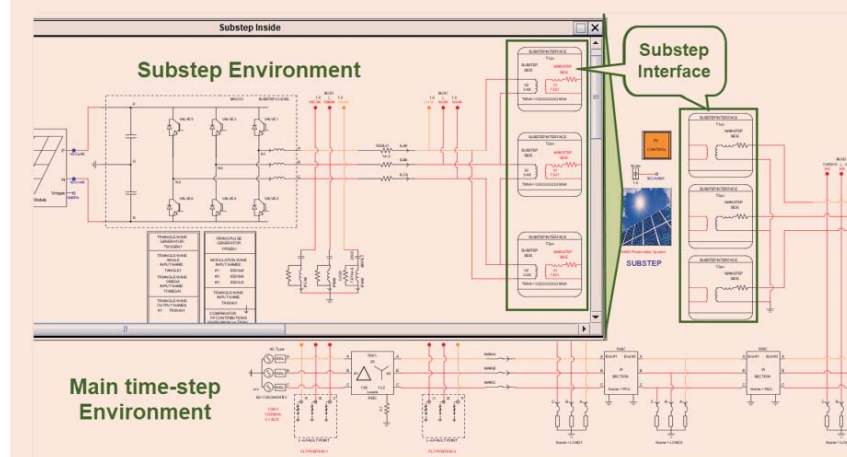


Рис. 1

расчета Small Timestep. Компания RTDS Technologies разработала алгоритм прогнозирования переключений [2], который значительно упростил симуляцию силовой электроники и позволил ей стать единственной на рынке, предложившей такую технологию (рис. 1 на с. 23). При моделировании схем с высокой частотой переключений используется шаг расчета 1–3 мкс, что само по себе требует от вычислителя высокой производительности. Существенное влияние на скорость расчетов оказывает выбор модели переключателя. Например, известен метод резистивных переключений, в котором модель переключателя построена на скачкообразном изменении его активной проводимости. Более широкое распространение получил метод с LC-переключениями, в котором разомкнутое состояние переключателя моделируется как последовательное соединение резистора и конденсатора, а замкнутое — как индуктивность. Преимуществом последнего является ускорение и упрощение вычислений в момент изменения состояния переключателя. Но существует ряд ограничений метода с LC-переключениями. Прежде всего, поскольку конденсаторы и индуктивности являются реактивными элементами с накоплением энергии, то на каждом переключении рассеивается небольшое количество энергии, т.е. возникают так называемые «искусственные потери», которые значительно возрастают с увеличением частоты переключений. Для указанного метода используется прием, когда элементы L или C в разных состояниях переключателя рассматриваются как часть схемы модели сети. Использование метода резистивных переключений позволяет исключить искусственные потери, но для симуляции требует выделения специальной подсистемы силового преобразователя. Образующиеся при делении модели

основная и дополнительная подсистемы взаимодействуют между собой через разделительную вставку, в качестве которой используется модель линии электропередачи с волновыми процессами. Все это усложняет исследуемую модель и требует больших ресурсов при симуляции.

Используемый в среде Substep революционный алгоритм позволяет использовать метод резистивных переключений для нескольких одинаковых по топологии преобразователей как часть общего расчета модели сети. Новые алгоритмы позволили достичь гораздо более высоких частот переключений при симуляции. При этом отсутствуют искусственные потери, что, являясь уникальным преимуществом, позволяет определять фактические потери в преобразователе.

Кроме этого, среда Substep использует полное матричное разложение модели сети, учитывает нелинейности и процессы насыщения в элементах, позволяет применять деление модели на подсистемы.

## ИНТЕРФЕЙС СВЯЗИ AURORA ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ PHIL

Программно-аппаратное тестирование с включением силовых устройств в цепь обратной связи (PHIL) становится все более популярным вследствие возможностей, которые позволяют воссоздать в лаборатории разнообразные сочетания условий функционирования энергооборудования, проводить анализ и определение характеристик силового оборудования и систем распределенной генерации [3]. Однако при моделировании PHIL

возникает ряд технических сложностей [4]. Так, интерфейс PHIL имеет положительную обратную связь, и любой ложный сигнал в соединительных проводах потенциально может быть многократно усилен вплоть до предельных значений четырехквadrантного усилителя. Для подавления помех и шумов от датчиков тока и напряжения используются фильтры, которые вносят свою задержку в прохождение сигнала обратной связи. Выбор схемы включения обратной связи и параметров фильтра происходит с учетом быстродействия всех компонентов PHIL и запаса устойчивости. Чтобы исключить наводки, снизить уровень шумов и минимизировать задержки сигналов, компания RTDS

## ПОДКЛЮЧЕНИЕ СИМУЛЯТОРА RTDS К СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ С ИНВЕРТОРОМ ЧЕРЕЗ ЧЕТЫРЕХКВАДРАНТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ПО ИНТЕРФЕЙСУ AURORA

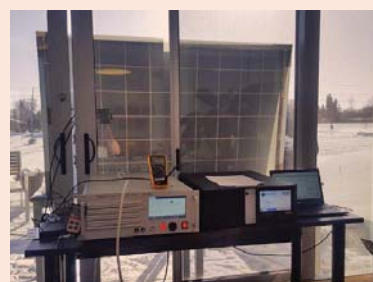


Рис. 2

## ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТОЙ И УСТРОЙСТВОМ НА ВОЛНОВЫХ ПРИНЦИПАХ РАБОТЫ, ПОДКЛЮЧЕННЫЙ К СИМУЛЯТОРУ RTDS



Рис. 3

Technologies вместо аналоговых соединений стала использовать цифровой интерфейс Aurora (рис. 2). Он представляет собой высокоскоростной двухсторонний протокол последовательной передачи данных, разработанный компанией Xilinx. Протокол имеет встроенные модели источников напряжения и тока и предназначен для создания двухстороннего канала связи между виртуальной моделью на симуляторе RTDS и внешним четырехквadrантным усилителем.

Число исследований с применением PHIL быстро увеличивается. Например, был проведен анализ работы инверторов разных производителей в условиях короткого замыкания (КЗ) в сети. Полученные результаты имеют существенное значение для энергообеспечивающих компаний, которые на их основе вырабатывают технические условия подключений объектов малой генерации и требо-

вания к ним при работе в аварийных режимах.

## ИСПЫТАНИЯ УСТРОЙСТВ РЗА С ВОЛНОВЫМ ПРИНЦИПОМ РАБОТЫ

Устройства РЗА, использующие волновые принципы работы, могут стать революцией в защите ЭС. Такие устройства не только надежно выявляют факт возникновения КЗ, но делают это очень быстро (в течение 1 мс) и, кроме того, они определяют местоположение КЗ. До недавнего времени недостающей деталью для распространения устройств волновой защиты было отсутствие испытательной базы, способной показать реакции ЭС на возникающие события с удовлет-

- Разнообразие конфигураций;
- ровная столешница по всей длине пульта;
- надежный стальной каркас;
- встроенные кабельные каналы для сигнальных и электрических проводов;
- лючки доступа к верхнему кабельному каналу;
- тыловой и фронтальный доступ к оборудованию;
- естественный и принудительный воздухообмен для установленного оборудования;
- модульная система энергоснабжения.



- Мягкий кант для защиты рук диспетчера во всех комплектациях;
- соответствие требованиям эргономики;
- износостойкая HPL-столешница с антистатическим покрытием;
- только качественные и профессиональные материалы;
- производство РФ.



**Удобство. Надежность. Стиль.**

Каждый диспетчерский пульт «АТЛАНТ» изготавливается по индивидуальному проекту. Перед отправкой к клиенту осуществляется полная предварительная сборка диспетчерского пульта, что гарантирует высокое качество поставляемого изделия.

[Pult-atlant.ru](http://Pult-atlant.ru)  
[Pultatlant.ru](http://Pultatlant.ru)  
[sales@pult-atlant.ru](mailto:sales@pult-atlant.ru)  
+7 495 956 21 14

ворительной погрешностью. Но все изменилось с выпуском компанией RTDS Technologies вспомогательного модуля GTFPGA-TWRT [9], который с шагом расчета около 1 мкс симулирует линии электропередач (ЛЭП) и отображает процессы затухания и рассеивания бегущих волн с учетом их фазы и частоты (рис. 3 на с. 25).

Интересен пример компании PNM (США), которая построила новую коммутационную ПС для разделения линии электропередачи напряжением 345 кВ на два сегмента и использования продольной компенсации

в них. Компания PNM обратилась в компанию Schweitzer Engineering Laboratories (SEL) за помощью в разработке устройства защиты, расчете настроек реле и выполнении цифрового моделирования в реальном времени для исследования работы защит на новой ПС. Первоначально предполагалось использование традиционной дифференциальной защиты в качестве основной, а нового устройства волновой защиты SEL-T400L — только для накопления опыта. Но когда SEL продемонстрировала возможности своих волновых защит на модели в реальном времени, то это убедило компанию PNM в надежности предлагаемых решений, и она приняла решение использовать волновую защиту как основную. При испытаниях время срабатывания измерительного органа волновой защиты при однофазном КЗ в середине ЛЭП составило всего лишь 0,6 мс, а определитель местоположения КЗ указал его с точностью 33 м на линии длиной 53 км.

## НОВАЯ АППАРАТНАЯ ПЛАТФОРМА NOVACOR

Новая моноблочная вычислительная платформа NovaCor (рис. 4) базируется на многоядерном процессоре IBM POWER8 и выпускается с 2017 г. [5]. Она пришла на замену кассетно-модульной конструкции с отдельными процессорными платами PB5. Специалисты из RTDS Technologies совместно с разработчиками из IBM много сделали для максимального использования возможностей процессора. Процессы симуляции получили поддержку на уровне операционной системы, а исполняемый код полностью помещается в кэш-память процессора, что позволяет достичь наилучшего быстродействия. Достижениями платформы Novacog стали увеличение размера моделируемой ЭС более чем в два

раза и повышение точности вследствие двукратного уменьшения номинального шага расчета до 25 мкс. Особенно заметны преимущества Novacog при моделировании больших ЭС и тесно переплетенных сетей, которые ранее можно было моделировать только как несколько подсистем.

За счет появления нового режима моделирования распределенных систем (Distribution mode) стала возможной симуляция еще в два раза больших ЭС. Этот режим в целом очень схож с основным режимом моделирования, но имеет свои особенности, такие как использование модели ЭС только с радиальной структурой сети и увеличение шага расчета примерно до 100 мкс.

## ГИБРИДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛЬШИХ ЭС В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Обычно расчеты больших ЭС проводятся только для основной частоты сети с использованием программных средств на базе векторного представления. Одним из важных результатов таких расчетов является анализ устойчивости ЭС (TSA). В то же время симуляторы реального времени позволяют детально, в широком диапазоне частот анализировать переходные процессы на сравнительно небольшом участке ЭС. Обычно в таких случаях для моделирования примыкающей ЭС используется ее эквивалентное сопротивление, что делает невозможным отслеживать реакции ЭС в динамике. Для объединения возможностей симулятора RTDS и программы расчета устойчивости TSAT компанией Powertech Labs был разработан специальный интерфейс TSAT-RTDS (рис. 5), который позво-

## ИНТЕРФЕЙС TSAT-RTDS (ПОЗВОЛЯЕТ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМ ВЫПОЛНЯТЬ ГИБРИДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ TSAT И СИМУЛЯТОРА RTDS)

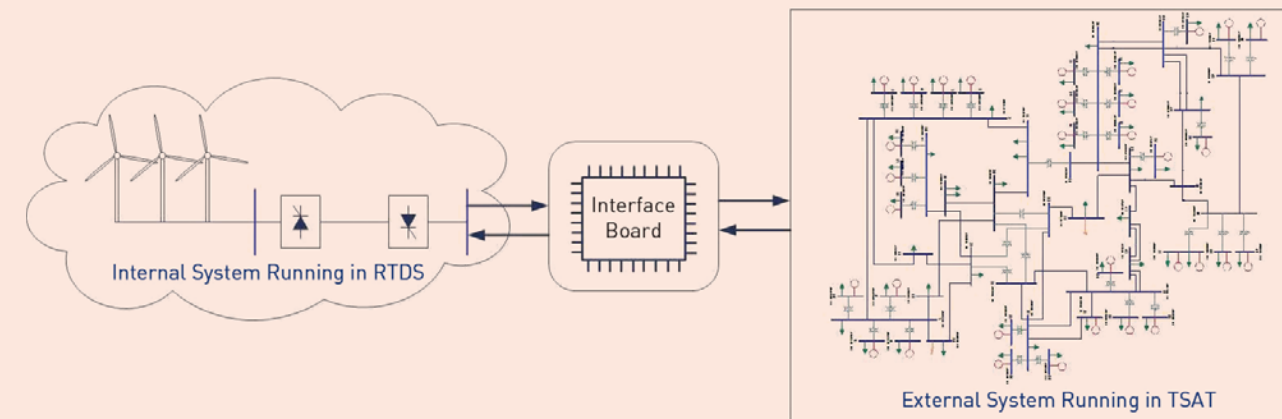


Рис. 5

ляет выполнять подробный анализ ЭС в гибридном режиме моделирования [6].

Программа TSAT, входящая в программный комплекс DSATools, выполняется на ПК и производит расчеты большой ЭС в векторном виде в реальном времени каждые 5–10 мс. Симулятор RTDS параллельно выполняет расчеты своей модели, используя в сотни раз меньший шаг расчета. Интерфейс TSAT-RTDS использует интерфейсный модуль, устанавливаемый в ПК, обеспечивает обмен данными между симуляторами и синхронизацию вычислительных процессов. Гибридный комплекс позволяет исследовать сложные взаимодействия между ЭС, например, систему распределенной генерации с множеством параллельно работающих силовых электронных преобразователей и многоточечными взаимодействиями с основной ЭС (рис. 6). При этом можно наблюдать максимально достоверную картину переходных процессов на генераторах с учетом демпфирующего

## РЕЗУЛЬТАТ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕАКЦИИ ГЕНЕРАТОРА, ПОДКЛЮЧЕННОГО К ОБЩЕЙ ЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРФЕЙСА TRI, И ПО ОТДЕЛЬНОСТИ ДЛЯ TSA И RTDS

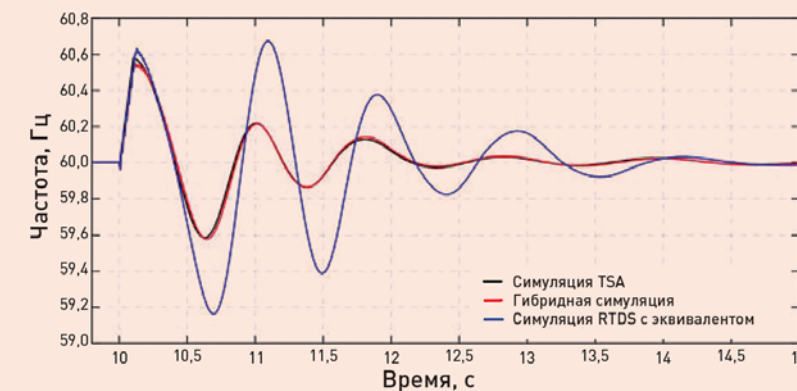


Рис. 6

эффекта большой ЭС. Гибридное моделирование позволяет резко увеличить размер моделируемой ЭС и существенно облегчить процесс разработки модели. В итоге

появляется возможность анализировать такие аспекты динамического поведения ЭС, которые нельзя было исследовать только с применением одного типа симуляторов [7].

## НОВАЯ АППАРАТНАЯ ПЛАТФОРМА NOVACOR СИМУЛЯТОРА RTDS



Рис. 4

## МЕНЮ ВЫБОРА ИНТЕРФЕЙСА ПРИЛОЖЕНИЯ PAS SUITE

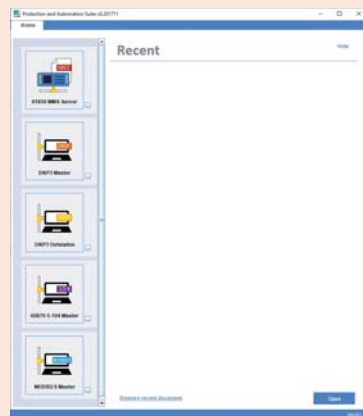


Рис. 7

для распределительных сетей и соответствовать строгим требованиям кибербезопасности, характерным для этих систем.

Помимо периодических обновлений библиотеки компонентов в новой версии RSCAD v5 добавлено приложение PAS Suite (рис. 7) для систем телемеханики [8]. Это удобный инструмент, необходимый для проверки и испытаний различных протоколов автоматизации ПС. Приложение может использоваться для создания на управляющем ПК сервера MMS по протоколу МЭК61850 или быть ведущим для конечных устройств, подключаемых по протоколам DNP3, МЭК60870-5-104 или MODBUS. Таким образом, PAS Suite может запрашивать информацию у главных или подчиненных устройств, просматривать модели удаленных устройств IED и отправлять им обновленные значения.

## РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ С МОДУЛЕМ GTFPGA

Кроме выполнения симуляции на основном вычислительном

модуле Novasoc, компания RTDS Technologies также применяет в своих симуляторах вычислительные матрицы ПЛИС (FPGA) в качестве вспомогательных модулей с гибкими и широкими возможностями при высокой производительности. Так, модуль GTFPGA (рис. 8), реализованный на основе матрицы Xilinx Virtex-7 FPGA, может синхронно с основной симуляцией выполнять высокоскоростные вычисления по заданной программе и обмениваться данными на каждом шаге расчета. Для модуля GTFPGA [10] разработано несколько видов специализированных программ: GPES, SV, MMC, а также программа TWRT, которая была упомянута ранее.

Для симуляции устройств и элементов силовой электроники используется программа GPES. Она позволяет создавать модели преобразователей с собственной топологией и выполнять их симуляцию с шагом расчета менее 1 мкс. При использовании в программе GPES модели с LC-переключениями вследствие производительности ПЛИС можно выполнять симуляцию схем с большим числом узлов и переключателей на малом шаге расчета. Применение уменьшенного шага расчета позволяет использовать модели переключателей с меньшими значениями индуктивностей и емкостей, что увеличи-

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ GTFPGA НА ОСНОВЕ ПЛИС



Рис. 8

## НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ РЗА

Испытания комплексов РЗА остаются основными областями применения симуляторов RTDS. Новые возможности программной среды RSCAD симуляторов RTDS предоставляют для этого самые эффективные средства. Библиотека протоколов связи в RSCAD постоянно обновляется и дополняется вслед за принятием новых стандартов. Так, недавно были обновлены компоненты для поддержки протокола МЭК61850 SV и GOOSE, которые теперь позволяют осуществлять обмен данными с внешними устройствами с использованием процесса маршрутизации SV (R-SV) и GOOSE (R-GOOSE). Благодаря новым компонентам пользователи симулятора RTDS смогут проводить испытания систем автоматизации

вает точность при расчете потерь в преобразователях. Кроме этого, программа GPES имеет поддержку интерфейса Auogo для приема внешних управляющих импульсов зажигания и передачи их в пользовательскую модель. Отмеченные свойства существенно повышают эффективность моделирования систем управления силовыми преобразователями в замкнутом цикле.

Программа SV используется в качестве интерфейсной для передачи из модели мгновенных значений токов и напряжений по протоколам МЭК 61850-9-2LE и МЭК 61869-9. Вследствие использования ПЛИС одновременно формируется 16 потоков SV. На передней панели модуля GTFPGA имеется 16 универсальных портов Ethernet, через которые подключаются внешние устройства IED по оптическим или медным соединениям. Модули GTFPGA с программой SV широко используются при испытаниях цифровых ПС.

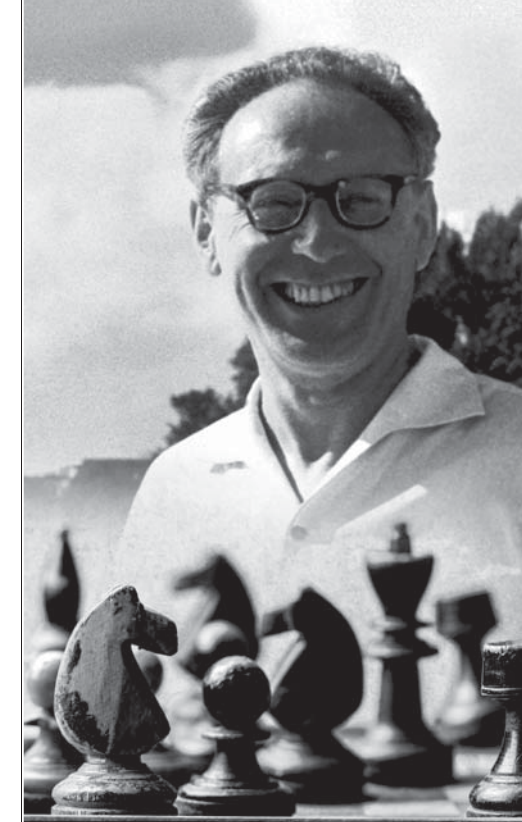
Программа модульных многоуровневых преобразователей MMC применяется для моделирования инверторных преобразователей и регулируемых выпрямителей, организации оптического интерфейса по приему и передаче импульсов зажигания в преобразователях HVDC или FATCS, а также для испытаний систем управления ими.

## ПРИМЕРЫ УСПЕШНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СИМУЛЯТОРА ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СЕТЕЙ

С каждым годом расширяется круг задач, решаемых с применением моделирования в реальном времени. В последнее время симуля-

торы RTDS стали использовать для симуляции микросетей. Недавно энергоснабжающая компания из США значительно расширила свои микросети, расположенные в пострадавшем от стихии районе. Чтобы повысить надежность микросетей и одновременно увеличить их размеры, компания применила усовершенствованный контроллер управления. Перед подключением контроллера к микросети его работа была испытана с применением симулятора RTDS. Это позволило заранее устранить потенциальные риски при эксплуатации микросети и повысить квалификацию диспетчеров. Кроме этого, на модели выполняется оптимизация экономических показателей при регулировании энергопотребления. Упомянутая компания дополнила модель и подключила к ней локальные средства управления системами распределения и контроллер солнечной станции. По мере развития модели и роста количества подключенного оборудования обнаруживаются все новые нюансы работы микросети.

В последнее время особую значимость приобрели вопросы информационного обеспечения ЭС и выполнения требований по кибербезопасности. Так, энергоснабжающая компания из США реализовала проект с использованием информационной платформы OpenFMB, целью которого было наделение интеллектуальными качествами (SmartGrid) распределительной сети с целью увеличения срока службы энергооборудования и снижения эксплуатационных затрат. В системе телемеханики этой сети использовались современные и унаследованные протоколы связи. На симуляторе RTDS провели испытания двух разных моделей распределительных систем с подключением физических устройств IED, таких как контроллеры выключателей, системы АПВ, регуляторы напряжения и контроллеры батарей



ноябрь 2019

реклама



IX  
Открытый  
шахматный турнир  
энергетиков  
памяти М. М. Ботвинника

2019

## ШАХМАТНЫЙ ТУРНИР ЭНЕРГЕТИКОВ

Приглашаем команды энергетиков поддержать нашу добрую традицию и принять участие в ежегодном открытом шахматном турнире!

Состоится личное и командное первенство по правилам ФИДЕ для быстрых шахмат.

НАБИРАЙТЕ ЧЕТЫРЕХ ИГРОКОВ  
И РЕГИСТРИРУЙТЕ КОМАНДУ  
НА САЙТЕ ТУРНИРА  
WWW.TURNIR.NTC-POWER.RU





Рис. 9  
Симуляторы RTDS в Британском  
национальном центре HVDC



Рис. 10  
Симулятор RTDS в университете  
Эрланген-Нюрнберг в Германии

конденсаторов. Все физические устройства имели свои изначально заложенные коммуникационные интерфейсы: DNP, MODBUS и R-GOOSE. Обмен сообщениями между такими разнородными устройствами был легко организован благодаря применению информационной платформы OpenFMB. В ходе комплексных испытаний с использованием симулятора RTDS система SmartGrid успешно прошла проверку в рабочих и аварийных режимах и сохраняла управленческие напряжения и реактивной мощностью, выполняла блокировки при перенапряжениях.

Во многих странах симуляторы RTDS фактически стали промышленным стандартом при испытаниях систем HVDC и FACTS. Так, например, введение в эксплуатацию линии электропередачи HVDC Кейтнесс-Морей в Великобритании сопровождалось испытаниями,

проводимыми в Британском национальном центре HVDC (рис. 9) с использованием имитационной установки с симулятором RTDS [11]. По мере воплощения проекта проводились различные исследования: анализ технико-экономического обоснования, проверка спецификации, испытания в эксплуатационных режимах. Также симуляция на RTDS использовалась при анализе рисков интеграции ЭС, при подготовке правил и документации по технической эксплуатации, для исследования взаимодействия ЭС с системами взаимной помощи ЭС и для диагностики различных ситуаций. Линия HVDC Кейтнесс-Морей была успешно подключена к ЭС в январе 2019 г.

На сегодняшний день более 400 организаций, включая ведущие мировые компании, в более чем 50 странах мира используют симуляторы RTDS (рис. 10), которые помогают реализовывать важные

инфраструктурные проекты по созданию и расширению ЭС, обосновывать потребности в инновациях и модернизации. Компания RTDS Technologies постоянно стремится расширить возможности своих технологий, и очень часто это происходит в ответ на запросы пользователей. В результате создается система моделирования, которая не только отличается высокой надежностью, но и постоянно расширяет свои функциональные возможности, библиотеку компонентов и инструментальный багаж. Это, в конечном итоге, позволяет пользователям симуляторов RTDS продолжать свое движение к ЭС завтрашнего дня.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Законьшек Я. Моделирование энергосистем в реальном времени. URL: <http://digitalsubstation.ru/blog/2013/12/02/modelling/#more-5206>
2. Maguire T., Elimban S., Tara E., Yi Zhang. Predicting Switch ON / OFF Statuses in Real Time Electromagnetic Transients Simulations with Voltage Source Converters / IEEE: Energy Internet and Energy System Integration, 20–22 Oct. 2018.
3. Kotsampopoulos P., Kapetanaki A., Messinis G., Kleftakis V., Hatzigiorgiou N. A power-hardware-in-the-loop facility for Microgrids. National Technical University of Athens, Department of Electrical and Computer Engineering, January 2013, pp. 3, 10–14, 17.
4. Законьшек Я., Иванов Ф.А., Шамис М.А. Моделирование микросети с подключением силового оборудования в реальном масштабе времени // Энергия единой сети. 2019. № 1(43). С. 58–67.
5. Форсайт П., Шамис М.А., Иванов Ф.А. Аппаратная платформа NovaCor для симуляторов RTDS // Энергия единой сети. 2018. № 3 (38). С. 20–24.
6. [https://www.dsatools.com/wp-content/uploads/2018/04/TR1\\_brochure.pdf](https://www.dsatools.com/wp-content/uploads/2018/04/TR1_brochure.pdf).
7. [http://ipstconf.org/papers/Proc\\_IPST2007/07IPST062.pdf](http://ipstconf.org/papers/Proc_IPST2007/07IPST062.pdf).
8. <https://www.rtds.com/pasuite>.
9. <https://www.rtds.com/twrt>.
10. <https://www.rtds.com/the-simulator/our-hardware/gtffpga-unit>.
11. <https://www.hvdccentre.com/our-projects/caithness-moray>.



Революция в моделировании в реальном времени

- Выше производительность • Больше моделируемая сеть
- Доступнее, чем когда-либо прежде

Новая аппаратная платформа  
для симуляторов RTDS  
на базе мощного  
многоядерного процессора

Быстродействие и производительность процессора IBM POWER8™ позволили качественно улучшить моделирование энергосистем

Центральный процессор модуля NovaCor содержит 10 высокопроизводительных ядер, работающих на частоте 3,5 ГГц.

Высокоскоростные межъядерные связи внутри процессора кардинально сократили время на обмен данными при параллельных вычислениях.

Сохранилась совместимость с интерфейсными модулями ввода-вывода предыдущих поколений симуляторов RTDS.



ВЫЧИСЛЯЯ УВЕРЕННОСТЬ



RTDS  
Technologies



ЗАО «ЭнЛАБ» официальный представитель компании  
“RTDS Technologies Inc.” в России [www.ennlab.ru](http://www.ennlab.ru)

