АППАРАТНАЯ ПЛАТФОРМА NOVACOR ДЛЯ СИМУЛЯТОРОВ RTDS

АВТОРЫ:

П. ФОРСАЙТ,
«RTDS TECHNOLOGIES INC.»

М.А. ШАМИС,
К.Т.Н.,
ЗАО «ЭНЛАБ»

Ф.А. ИВАНОВ,
ЗАО «ЭНЛАБ»

Цифровые комплексы моделирующие энергосистемы в реальном времени позволяют моделировать различные процессы, протекающие в энергосистеме при различных повреждениях (например, короткие замыкания различных видов). Обширная библиотека моделей элементов энергообъектов (ВЛ, трансформаторы силовые и измерительные, генераторы, турбины, элементы ВИЭ, FACTS), а также моделей вторичных устройств управления, набор логических функций — все это делает возможным создание сложных структурных моделей управления энергосистемой в аномальных режимах.

Ключевые слова: цифровое моделирование энергосистем; RTDS; Novacor.

Симулятор RTDS на аппаратной платформе NovaCor в работе

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы все большую популярность среди специалистов, связанных с электротехникой и энергетикой, приобретают симуляторы, осуществляющие моделирование энергосистем в реальном времени. [1, 2] Указанные симуляторы, к числу которых относится симулятор RTDS [3], существенно повышают эффективность исследований электротехнического оборудования энергосистем, в первую очередь, вторичной аппаратуры [4, 5].

С апреля 2017 г. компания RTDS Technologies Inc. перешла на выпуск новой аппаратной платформы NovaCor для симуляторов RTDS (рис. 1). Платформа NovaCor стала очередным шагом развития симуляторов и призвана заменить кассетно-модульную конструкцию на базе модулей PB5 и GTWIF, выпускаемую уже в течение 10 лет, за которые было поставлено свыше одной тысячи кассет. За прошедшие годы разработчиками был практически полностью использован потенциал увеличения производительности упомянутой конструкции, где ограничением выступала скорость обмена данными между процессорными модулями PB5. При последней программе модернизации симуляторов RTDS разработчики добавили в каждую кассету дополнительные оптоволоконные каналы передачи данных между модулями PB5, вследствие чего достигли роста производительности и увеличения числа допустимых однофазных узлов в моделируемой системе со 144 до 180. Для дальнейшего роста вычислительных возможностей симулятора компания RTDS Technologies Inc. успешно совместила все самые последние достижения процессорной техники с собственными новаторскими решениями в области моделирования энергосистем в реальном времени.

ВНЕШНИЙ ВИД АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ NOVACOR

Рис. 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАТФОРМЫ NOVACOR

Новая платформа NovaCor построена на принципах одноплатной ЭВМ на базе новейшего высокопроизводительного 10-ядерного процессора POWER8 компании IBM [6]. Такой переход от кассетно-модульной конструкции к системе «на одном чипе» позволил резко повысить вычислительную мощность симулятора, так как основной обмен расчетными данными теперь осуществляется внутри одной микросхемы по более высокоскоростным каналам связи между ядрами и общей оперативной памятью. Кроме того, вдвое возросла тактовая частота процессора. Возможности платформы NovaCor существенно выросли в сравнении с предыдущей платформой:

- количество узлов в моделируемой энергосистеме возросло со 180 до 600;
- уменьшился номинальный шаг расчета моделируемой энергосистемы с (50–60) мкс до (20–30) мкс и повысилась точность вычислений;
- увеличилась условная производительность оборудования с 240 у двухпроцессорного модуля PB5 до 300 для каждого из 10 ядер процессора POWER8;
- существенно уменьшились масса, габариты и потребляемая мощность модуля симулятора.

Вычислительный модуль NovaCor выполнен в виде блока шириной стандарта 19" и высотой 4U, и предназначен для монтажа в шкаф, но его можно использовать и отдельно в «настольном» виде. На передней стороне блока расположен 7" сенсорный дисплей для настройки модуля. В будущем предполагается на этот дисплей выводить данные, получаемые во время симуляции. Кроме этого, на передней панели имеется 12 гнезд, на которые можно

ИЗ «ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ КОНЦЕПЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АКТИВНО-АДАПТИВНОЙ СЕТЬЮ (ПАО «ФСК ЕЭС»)»

5.2. Интеллект ИЭС в значительной степени определяется системой управления.

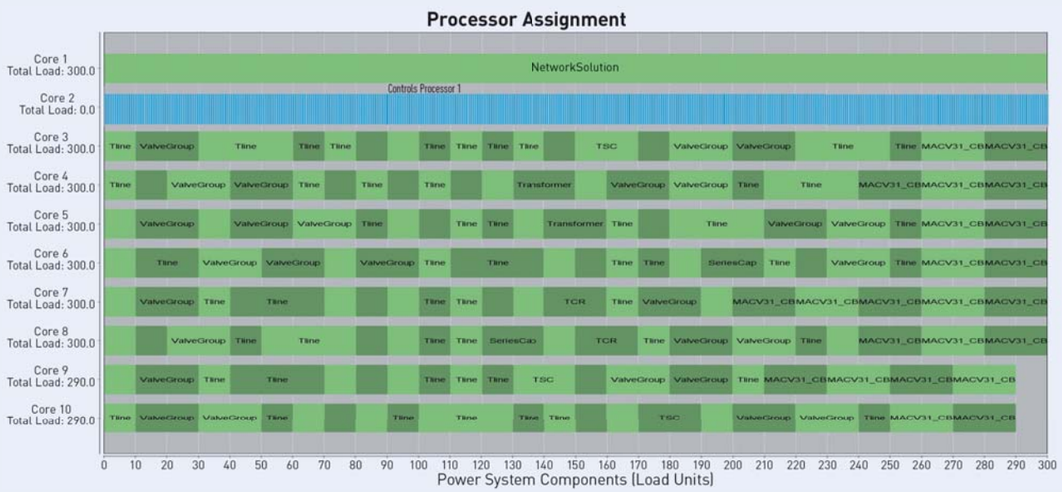
[...]
Автоматизированная система диспетчерско-технологического управления, в среде которой действует оперативный персонал, поддерживает информационную модель объекта управления с системой удобного отображения состояния объекта, системой передачи и реализации управляющих воздействий (включая телеуправление); система включает программное обеспечение (ПО), автоматизирующее процессы принятия решения, ПО для анализа, планирования режимов, подготовки решений по настройке автоматических контуров управления и др.

выводить в аналоговом виде любую информацию из исследуемой модели. Обычно упомянутые гнезда используются для подключения мультиметра или осциллографа для мониторинга каких-либо параметров модели. До трех вычислительных модулей NovaCor можно установить в один шкаф NovaCor, который выполнен в новом дизайне с регулируемой голубой подсветкой. В новом шкафу разделено управление питанием интерфейсных и вычислительных модулей, а также установлены специальные переходные кассеты для монтажа модулей сетевых протоколов GTNETx2.

За последнее время также расширился перечень сетевых протоколов, которые могут поддерживать модули GTNETx2. В их число входят высокоскоростные протоколы МЭК61850 (SV, GOOSE), IEEE C37.118 (PMU), собственный протокол SKT, а также низкоскоростные протоколы для систем АСУТП: MMS, МЭК 60870-5-104, Modbus и DNP, последний широко используется в странах Северной Америки. Предлагаемый широкий выбор коммуникационных протоколов способен удовлетворить все потребности для моделирования «цифровых подстанций», интеллектуальных распределенных сетей SmartGrid, систем АСУТП, исследований в области систем централизованной релейной защиты WAMP, а также проведения исследований по защите объектов энергетики от киберугроз.

При разработке новой платформы NovaCor были сохранены все возможности по коммуникации, используемые предыдущей платформой. Вследствие этого пользователи симулятора RTDS могут продолжить применение имеющихся интерфейсных модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов и модулей связи

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПО ЯДРАМ ПРОЦЕССОРА NOVACOR



Processor assignment — Карта распределения вычислительных задач многоядерного процессора
Core 1 — ядро №1;
Total load — суммарная вычислительная мощность;
Network Solution — процесс общего расчета электрической сети;
Controls processor — процесс симуляции логических, математических элементов управления и информационных связей между ними;
Tline — процесс симуляции элемента линий электропередач;
Valve group — процесс симуляции элемента силовых ключей;
Transformer — процесс симуляции элемента трансформатора;
MACV31_CB — процесс симуляции элемента синхронного генератора;
TSC — процесс симуляции элемента статического компенсатора;
Power system components (Load units) — модели элементов энергосистемы (вычислительная нагрузка)

Рис. 2

СРАВНЕНИЕ ПЛАТФОРМ NOVACOR И PB5/GTWIF

Описание модели	Требуемые ресурсы платформы	
	PB5/GTWIF	NovaCor
Модель с 10 шинами: 102 узла, 2 синхронных генератора, 2 источника, 1 трансформатор, 9 ЛЭП	1 кассета с 2 модулями PB5. Шаг расчета 30 мкс	1 модуль NovaCor с 1 ядром. Шаг расчета 13 мкс
Модель IEEE 39 шин: 366 узлов, 9 синхронных генераторов, 34 ЛЭП, 3 трансформатора, 18 динамических нагрузок, 1 источник	1 кассета с 5 модулями PB5. Шаг расчета 58 мкс	1 блок NovaCor с 3 ядрами. Шаг расчет 24 мкс
Большая распределенная энергосистема на 972 узла и 7210 динамических нагрузок	14 кассет с 56 модулями PB5. Шаг расчета 62 мкс	3 блока NovaCor с 29 ядрами. Шаг расчета 41 мкс

Таблица 1

по сетевым протоколам. Платформа NovaCor использует такие же, как и раньше, внутренние каналы связи и синхронизации расчетов, применяемые для объединения нескольких вычислительных модулей в единый симулятор. Отмеченное позволяет применять имеющиеся коммутаторы и сетевые концентраторы для подключения вычислительных модулей NovaCor к вычислительным кассетам на платформе PB5/GTWIF. Таким образом, компанией минимизированы неудобства и затраты для пользователей при переходе на новую платформу.

ПРОГРАММНАЯ СРЕДА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ RSCAD. ПРЕИМУЩЕСТВА ПЛАТФОРМЫ NOVACOR

Кроме аппаратных изменений, значительные новации произошли и в используемом в RTDS программном обеспечении RSCAD. Полностью был переписан программный компилятор, который преобразует задаваемую пользователем электрическую схему модели в более эффективный исполняемый код. Модель энергосистемы включает в себя силовые компоненты, имитирующие первичную часть энергосистемы, а также компоненты для имитации вторичных систем управления, измерений и расчетов, логических операций и пр. На предыдущей платформе требовалось выделять отдельный процессор для симуляции компонентов управления. Еще один процессор использовался для выполнения общего расчета первичной схемы модели по матрицам проводимости. Таким образом, для выполнения симуляции ранее требовалось как минимум два отдельных процессора. Новый компилятор способен максимально задействовать вычислительную мощность каждого ядра процессора POWER8, вследствие чего позволяет выполнять симуляцию силовых компонентов, компонентов управления, а также расчеты сети, содержащей до 90 однофазных узлов, с использованием всего одного ядра. По сравнению с минимально требуемым составом симулятора на базе платформы PB5/GTWIF минимальная конфигурация симулятора RTDS на базе NovaCor включает в себя меньше компонентов, что привело к значительному снижению его стоимости.

По мере увеличения сложности выполняемых проектов и необходимости моделирования больших энергосистем можно легко увеличить вычислительную мощность симулятора RTDS, а также нарастить количество интерфейсных модулей для ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов, модулей связи по сетевым протоколам. Увеличение производительности модуля NovaCor производится за счет использования большего числа ядер процессора путем приобретения лицензий на их использование. Соответственно упростились и сократились по продолжительности требуемые для этого процедуры, так как теперь не требуется приобретать и доставлять новый процессорный модуль PB5, а достаточно активировать ядро посредством файла-ключа, получаемого по электронной почте.

Более всего преимущества новой платформы NovaCor раскрываются при сопоставлении требуемых ресурсов для моделирования стандартизированных моделей энергосистем, рекомендуемых сообществом IEEE (табл. 1). Для больших симуляторов на базе NovaCor требуется примерно в 3 раза меньше вычислительных модулей, чем для симуляторов RTDS на базе PB5/GTWIF.

Одним из ярких примеров производительности одного модуля Novacor является модель энергосистемы штата Манитоба (Канада), для симуляции которой используются все 10 ядер процессора. Загрузка указанных ядер показана на рис. 2.

Модель энергосистемы штата Манитоба (рис. 3) симулируется

с номинальным шагом расчета и содержит около 300 узлов, 60 линий электропередач переменного тока и 2 линии постоянного тока, подключаемые к 3 преобразовательным подстанциям. Также имеется 8 генерирующих станций, на которых суммарно установлено 23 синхронных генератора и одна ферма ветровых генераторов. Кроме этого, имеется 20 подстанций, 2 из которых имеют подключения к единой энергосистеме, множество силовых трансформаторов, выключателей, потребителей, фильтров.

Таким образом, переход на новую аппаратную платформу NovaCor расширяет возможности по имитационному моделированию больших энергосистем при одновременном снижении стоимости симулятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hahn A., Ashok A., Sridhart S., Govindarasu M. Cyber-Physical Security Testbeds://IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 4. June 2013. № 2, p. 847–855.
2. Chen B., Butler-Purry K., Kundur D. Implementing a Real-Time Cyber-Physical System Test Bed in RTDS RTDS and OPNET// North America Power Symposium (NAPS). 2014, p. 1–6.
3. Мочалов Д.О., Законьшек Я.В., Шамис М.А. Комплексы моделирования в реальном времени для современных энергосистем//Релейная защита и автоматизация. 2013. №1(10), с. 70–74.
4. Sidwall K. Real time digital simulation: a critical tool for digital substations, grid modernization, and Smart Grid development// Digital Substation. 2017. №2, p. 54–55.
5. Шамис М.А., Сидволл К. Об опыте использования симуляторов реального времени крупными компаниями//ЭнергоStyle. 2015. №3(31), с. 20–21.
6. Шамис М.А., Иванов Ф.А. NovaCor — новая аппаратная платформа симуляторов RTDS// ЭнергоЭксперт. 2017. №4 (63), с. 16–17.

МОДЕЛЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ШТАТА МАНИТОБА (КАНАДА)

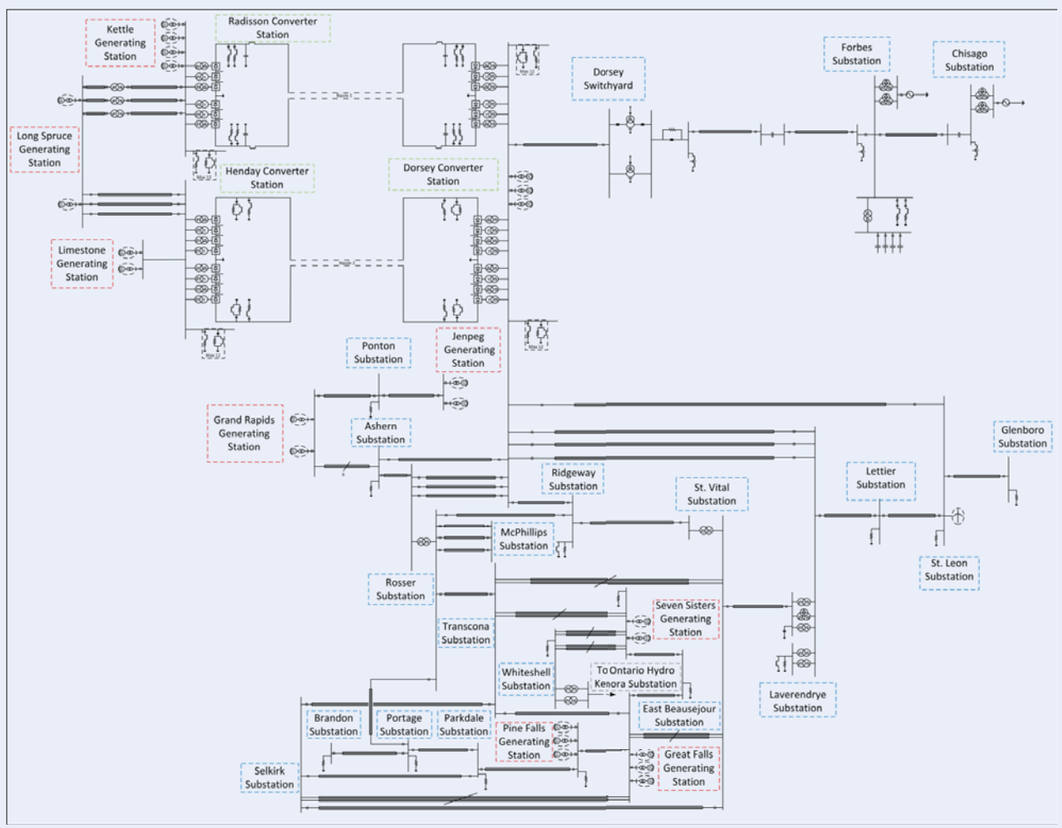


Рис. 3