Техническое описание (Data sheet) на русском языке

RF System Design (SystemVue)

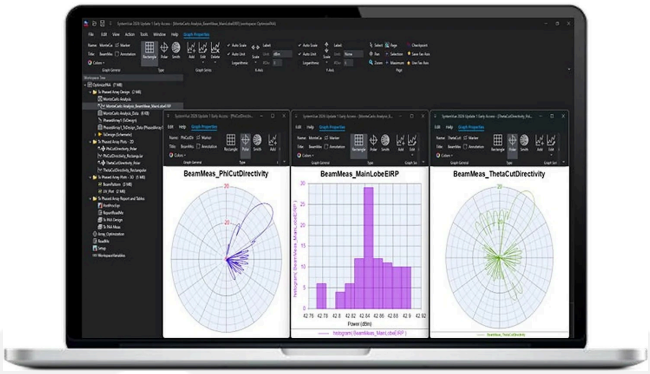
Масштабируемое моделирование цифровых двойников радиочастотных систем для современных беспроводных и аэрокосмических систем

Введение (Introduction)

RF System Design (SystemVue) — масштабируемая платформа цифровых двойников радиочастотных систем (RF digital twin) для проектирования, оптимизации и валидации современных беспроводных, спутниковых, радиолокационных систем, систем с фазированными антенными решётками (phased array), а также систем аэрокосмической и оборонной отраслей (Aerospace & Defense). Современные радиочастотные системы требуют точного моделирования радиочастотных искажений (RF impairments), формирования диаграммы направленности фазированных антенных решёток (beamforming), сред распространения радиоволн, нелинейного поведения аппаратуры и сложной обработки в основной полосе частот (baseband) в нескольких предметных областях (domain). Традиционный анализ в электронных таблицах и разрозненные средства моделирования не позволяют эффективно справляться со сложностью формирующихся беспроводных систем.

SystemVue объединяет в единой среде совместного моделирования радиочастотные (RF) задачи, цифровую обработку сигналов (Digital Signal Processing, DSP), фазированные антенные решётки, распространение радиоволн и рабочие процессы (workflows) AI/ML. Платформа интегрирует радиочастотные модели, коррелированные с измерениями (measurement-correlated), поведенческое моделирование (behavioral modeling) с учётом особенностей аппаратуры (hardware-aware), реалистичное моделирование распространения в канале и расширенные средства визуализации, что позволяет выстраивать сквозные (end-to-end) процессы с цифровым двойником радиочастотной системы. Благодаря масштабируемой поддержке Windows и Linux, программным интерфейсам автоматизации на Python (Python automation API) и бесшовной интеграции с приборами Keysight и решениями для автоматизации проектирования электронных устройств (Electronic Design Automation, EDA), SystemVue позволяет инженерам раньше проверять производительность системы, снижать риски проектирования и ускорять вывод продукции на рынок (time-to-market).

Тел.: +7 (495) 252-00-96
Email: info-site@akmetron.ru
Адрес: Москва, ул. Рабочая, д.93 стр.2, под. 2.



Содержание (Table of Contents)

Почему команды по проектированию радиочастотных систем выбирают SystemVue
Основные средства моделирования
Интегрированная среда проектирования
Инструменты для разработчика схем в ADS
Интеграция AI/ML
Библиотеки для беспроводных систем
Автомобильные радиолокаторы
Wi-Fi и средства подключения
Библиотека 5G/6G и сотовой связи
Спутниковая связь
Библиотека радиочастотных систем
Библиотека проектирования алгоритмов
Модели AMI
Информация для заказа и лицензирование

Почему команды по проектированию радиочастотных систем выбирают SystemVue (Why RF System Design Teams Choose SystemVue)

RF System Design (SystemVue) — масштабируемая платформа цифровых двойников радиочастотных систем для проектирования, оптимизации и валидации современных беспроводных, спутниковых, радиолокационных систем, систем с фазированными антенными решётками и систем аэрокосмической и оборонной отраслей. По мере того как технологии 5G Advanced и формирующиеся технологии 6G вносят беспрецедентную сложность, инженерам необходимо точно моделировать взаимодействие радиочастотных искажений, нелинейного поведения аппаратуры,

формирования диаграммы направленности фазированных антенных решёток, динамических сред распространения радиоволн, обработки на основе искусственного интеллекта (AI-native) и сложных алгоритмов основной полосы частот в нескольких предметных областях. Традиционный анализ в электронных таблицах и разрозненные точечные средства больше не позволяют эффективно прогнозировать реальную производительность системы и поддерживать быстрое исследование пространства проектных решений (design-space exploration).

SystemVue решает эти задачи с помощью интегрированной среды междоменного моделирования (cross-domain simulation), которая объединяет в единой платформе радиочастотные задачи, антенны, распространение радиоволн, ЦОС и процессы AI/ML. Благодаря механизму радиочастотного анализа нового поколения SystemVue обеспечивает высокоточное поведенческое моделирование, радиочастотное моделирование, коррелированное с измерениями, моделирование с несколькими независимыми параметрами (Multi-Independent Parameter, MIP), S-параметры на основе уравнений и масштабируемый анализ фазированных антенных решёток для реалистичной разработки цифровых двойников радиочастотных систем.

Интегрированная поддержка сред Linux и Windows, программные интерфейсы автоматизации на Python, процессы с аппаратным контуром (hardware-in-the-loop) и бесшовное взаимодействие с ADS, RFPro, STK, EXata, PropSim, WaveJudge, VSA и измерительными приборами Keysight обеспечивают совместную разработку и валидацию с учётом особенностей аппаратуры на протяжении всего жизненного цикла продукта.

Объединяя в одной масштабируемой среде реалистичные радиочастотные искажения, эффекты фазированных антенных решёток, динамику распространения радиоволн и поведенческие модели на основе измерений, SystemVue помогает инженерам снижать риски проектирования, ускорять валидацию систем, оптимизировать производительность и существенно сокращать время вывода на рынок радиочастотных и беспроводных систем следующего поколения.

Основные средства моделирования (Core Simulators)

RF System Design (SystemVue) объединяет несколько технологий моделирования в единой среде для разработки радиочастотных систем и систем основной полосы частот. Платформа позволяет инженерам эффективно анализировать поведение системы в частотной (frequency-domain) и временной (time-domain) областях и поддерживает масштабируемое исследование проектных решений для всё более сложных беспроводных приложений и приложений аэрокосмической и оборонной отраслей.

Основные технологии включают механизм моделирования потоков данных (Data Flow) для ЦОС и обработки в основной полосе частот, механизм радиочастотного анализа Spectrasys II для высокоточного поведенческого радиочастотного моделирования, расширенный анализ фазированных антенных решёток (Phased Array Analysis) для моделирования формирования диаграммы направленности и антенных систем, а также планировщик частот WhatIF для быстрого анализа побочных составляющих (spurious) и преобразования частоты. Вместе эти механизмы образуют гибкую основу для оценки архитектур систем, оптимизации производительности и анализа взаимодействия радиочастотных трактов, обработки сигналов, антенн и сред распространения радиоволн.

Этот технический обзор описывает основные механизмы моделирования, интегрированные процессы и прикладные библиотеки, доступные в SystemVue, и показывает, как платформа обеспечивает эффективную разработку и валидацию современных беспроводных, спутниковых, радиолокационных систем, систем с фазированными антенными решётками и архитектур радиочастотных систем.

Потоки данных (Data Flow)

Механизм Data Flow обеспечивает эффективное моделирование во временной области для смешанных радиочастотных систем и систем основной полосы частот и может работать как самостоятельно, так и совместно с механизмами Spectrasys II RF и Phased Array Analysis в единой междоменной среде. Он позволяет точно моделировать и анализировать цифровую обработку сигналов (DSP), алгоритмы связи, адаптивную обработку и архитектуры систем с учётом особенностей аппаратуры для современных беспроводных, радиолокационных, спутниковых систем и систем аэрокосмической и оборонной отраслей.

Data Flow оптимизирован для систем с динамическим и изменяющимся во времени поведением и позволяет инженерам оценивать взаимодействие радиочастотных искажений, алгоритмов обработки сигналов, архитектур фазированных антенных решёток и эффектов распространения радиоволн в реалистичных сквозных средах моделирования. Платформа поддерживает быстрое исследование проектных решений, верификацию алгоритмов, анализ аппаратной реализации и процессы с поддержкой AI/ML, позволяя разработчикам оптимизировать производительность системы в соответствии со сложными проектными требованиями и ключевыми показателями эффективности (Key Performance Indicators, KPI).

Data Flow основан на синхронных потоках данных (Synchronous Data Flow, SDF) — одной из наиболее зрелых и эффективных моделей вычислений в парадигме потоков данных. Опираясь на эту основу, синхронные потоки данных с учётом времени (Timed Synchronous Data Flow, TSDF) расширяют платформу поддержкой

дискретизированных во времени представлений сигналов непрерывного времени и смешанных предметных областей (mixed-domain). Такая архитектура обеспечивает масштабируемое и эффективное моделирование сложных многоскоростных (multi-rate) систем при сохранении тесной корреляции между обработкой в основной полосе частот и поведением радиочастотной системы.

Радиочастотный анализ (RF Analysis)

Spectrasys II — механизм радиочастотного анализа нового поколения в составе SystemVue, предназначенный для масштабируемых процессов с цифровыми двойниками радиочастотных систем и высокоточного поведенческого моделирования радиочастотных систем. Механизм сочетает расширенный анализ распространения спектра с диагностикой первопричин, что позволяет точно моделировать сложные беспроводные, спутниковые, радиолокационные системы, системы с фазированными антенными решётками и системы аэрокосмической и оборонной отраслей.

Spectrasys II поддерживает как поведенческое моделирование, так и моделирование, коррелированное с измерениями, отслеживая двунаправленное распространение спектра по всей радиочастотной архитектуре. Механизм ведёт подробный учёт спектров сигналов, продуктов нелинейных искажений, побочных откликов, трактов утечки (leakage paths) и вкладов шума, что позволяет инженерам быстро определять источники и механизмы распространения радиочастотных искажений в больших и сложных системах. Интерактивные диаграммы бюджета, каскадные радиочастотные измерения и расширенные средства визуализации дают представление о производительности на уровне системы и компромиссах архитектуры.

Построенный на современной модульной радиочастотной архитектуре, Spectrasys II вводит моделирование с несколькими независимыми параметрами (MIP), S-параметры на основе уравнений, полиморфные радиочастотные компоненты и процессы на основе MDIF для реалистичного моделирования поведения устройств, зависящего от частоты, смещения, мощности и температуры. Платформа также поддерживает расширенные поведенческие модели на основе измерений, такие как динамические модели усиления (Dynamic Gain Models, DGM), и нелинейные радиочастотные процессы, коррелированные с аппаратурой.

По сравнению с электронными таблицами, традиционными средствами анализа каскада радиотракта (line-up analysis) и традиционными методами моделирования нелинейных цепей Spectrasys II значительно повышает скорость моделирования при сохранении высокой радиочастотной точности. Механизм эффективно моделирует широкополосный шум, нелинейное паразитное расширение спектра (spectral regrowth), распространение фазового шума (phase noise), утечку сигнала, несколько

трактов сигнала, эффекты активного импеданса (active impedance) и широкополосные радиочастотные взаимодействия без использования ресурсоёмкого нелинейного моделирования, основанного на сходимости.

Сочетая высокую эффективность моделирования с реалистичным моделированием радиочастотных искажений и валидацией с учётом аппаратуры, Spectrasys II позволяет инженерам ускорять исследование радиочастотных архитектур, оптимизировать производительность системы, снижать риски проектирования и улучшать корреляцию между моделированием и измеренным поведением аппаратуры.

Планировщик частот WhatIF (WhatIF Frequency Planner)

WhatIF — расширенная среда планирования радиочастот и анализа побочных составляющих, предназначенная для быстрого определения оптимальных промежуточных частот (intermediate frequency, IF) и рабочих областей, свободных от побочных составляющих, для сложных радиочастотных архитектур. Автоматизируя традиционно трудоёмкий процесс анализа побочных составляющих, WhatIF позволяет инженерам сократить задачи радиочастотного планирования с недель или дней до часов или минут.

Платформа обеспечивает интерактивную визуализацию побочных откликов для нескольких кандидатов промежуточных частот на одном графике, что позволяет проектировщикам быстро оценивать компромиссы между частотными планами, архитектурами смесителей (mixers), распределениями полосы и стратегиями преобразования. Инженеры могут определять области, свободные от побочных составляющих, оптимизировать схемы преобразования частоты и оценивать влияние характеристик смесителей и радиочастотных искажений в широкополосных архитектурах систем.

WhatIF рассчитывает побочные продукты и их амплитуды на основе характеристик смесителей, конфигураций гетеродинов (local oscillators, LO), частот системы, взаимодействий гармоник, полос сигналов и требуемых полос промежуточной частоты. Среда поддерживает анализ многокаскадного преобразования частоты, что позволяет эффективно исследовать сложные архитектуры приёмников, передатчиков, спутниковых полезных нагрузок (payload), радиолокационных систем, систем радиоэлектронной борьбы (Electronic Warfare, EW) и фазированных антенных решёток.

Благодаря интеграции с процессами Spectrasys II, WhatIF обеспечивает быстрый анализ радиочастотной архитектуры без ресурсоёмкого моделирования на основе перебора (sweep-based). Это значительно ускоряет исследование систем и

повышает наглядность механизмов образования побочных составляющих, трактов утечки, взаимодействий гармоник и компромиссов радиочастотного проектирования на раннем этапе разработки.

Анализ фазированных антенных решёток (Phased Array Analysis)

Механизм Phased Array Analysis обеспечивает масштабируемое моделирование цифровых двойников для фазированных антенных решёток, систем массивного MIMO (massive MIMO), радиолокационных систем, полезных нагрузок спутников и антенных систем с электронным сканированием. В сочетании с расширенными радиочастотными моделями фазированных антенных решёток платформа позволяет инженерам эффективно создавать, анализировать и оптимизировать очень сложные архитектуры решёток, точно моделируя радиочастотные искажения, формирование диаграммы направленности, эффекты распространения радиоволн и взаимодействия антенн.

Хотя современные системы с фазированными антенными решётками могут содержать сотни или тысячи радиочастотных трактов сигнала, интеллектуальная архитектура фазированных антенных решёток SystemVue радикально упрощает создание системы и моделирование. Вместо явного вычерчивания каждого радиочастотного тракта интеллектуальные модели фазированных решёток автоматически тиражируют радиочастотные цепи на основе каскадов делителей и сумматоров (splitters and combiners) во всей архитектуре. Это обеспечивает компактное и интуитивное представление схемы независимо от размера решётки, существенно снижая сложность проектирования, время подготовки моделирования и риск ошибок моделирования, связанных с ручным построением крупных решёток.

Платформа поддерживает реалистичное моделирование эффектов фазированных антенных решёток, включая взаимодействия активного импеданса, взаимную связь (mutual coupling), квантование при формировании диаграммы направленности (beamforming quantization), ошибки калибровки (calibration errors), нелинейные радиочастотные искажения, адаптивное сканирование луча и архитектуры гибридного формирования диаграммы направленности. Интегрированное моделирование распространения радиоволн и радиочастотных искажений позволяет инженерам оценивать реалистичную производительность на уровне системы в динамических условиях эксплуатации.

Phased Array Analysis предоставляет полный набор предопределённых измерений и средств визуализации для оценки и оптимизации системы, включая:

- двумерную и трёхмерную визуализацию диаграммы направленности луча;
- построение карт покрытия;

- оптимизацию расположения лучей;
- анализ эквивалентной изотропно излучаемой мощности (Equivalent Isotropically Radiated Power, EIRP) и боковых лепестков (sidelobes);
- оценку коэффициента усиления решётки (array gain) и сканирования луча;
- анализ производительности системы при измерениях по радиоинтерфейсу (Over-the-Air, OTA);
- исследования помех и сосуществования.

Сочетая масштабируемое моделирование решёток с реалистичными процессами цифровых двойников радиочастотных систем, SystemVue обеспечивает эффективную разработку и валидацию систем с фазированными антенными решётками следующего поколения для приложений 5G Advanced, 6G, радиолокации, радиоэлектронной борьбы, неназемных сетей (Non-Terrestrial Network, NTN), спутниковой связи и аэрокосмической и оборонной отраслей.

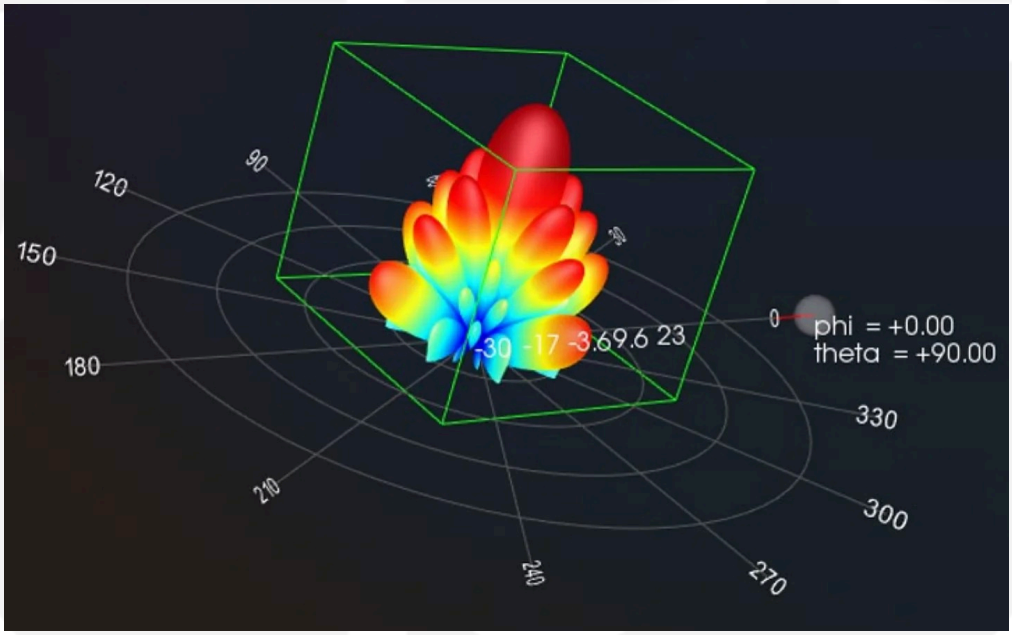


Рисунок 1. Диаграмма направленности фазированной антенной решётки

Интегрированная среда проектирования (Integrated Design Environment)

RF System Design (SystemVue) обеспечивает бесшовную интеграцию с программным обеспечением, аппаратурой и корпоративными инженерными средами Keysight, позволяя выстраивать единые процессы цифровых двойников радиочастотных систем на этапах системной архитектуры, радиочастотного проектирования, анализа распространения радиоволн, сетевого моделирования и аппаратной валидации. Эти

интегрированные процессы позволяют инженерам эффективно переходить между моделированием, измерениями и реализацией, сохраняя тесную корреляцию между смоделированной и измеренной производительностью системы.

SystemVue взаимодействует с широкой экосистемой инструментов Keysight и сторонних производителей, включая ADS, RFPro, Signal Studio, векторный анализ сигналов (Vector Signal Analysis, VSA), WaveJudge, EXata Network Modeling, MATLAB®, Python, Ansys STK, PropSim, Wireless InSite® и радиочастотные измерительные приборы Keysight. Такая междоменная интеграция обеспечивает совместную разработку командами по радиочастотам, ЦОС, антеннам, распространению радиоволн, сетям и AI/ML.

Интегрированные процессы от проектирования к испытаниям (design-to-test) используют те же методы измерений (measurement science), что и приборы Keysight, уменьшая расхождения между моделированием и аппаратной валидацией. Инженеры могут формировать реалистичные сигналы, экспортировать тестовые векторы, сопоставлять измерения с результатами моделирования и валидировать цифровые двойники радиочастотных систем с учётом особенностей аппаратуры. Это значительно ускоряет валидацию прототипов, повышает точность проектирования и сокращает циклы разработки.

SystemVue также поддерживает масштабируемую автоматизацию и настройку процессов с помощью интерфейсов Python API, моделирования без графического интерфейса (headless) и открытых интерфейсов для внешней оркестрации (orchestration) и интеграции AI/ML.

Обмен данными и интеграция процессов (Data sharing and workflow integration)

- Проектирование алгоритмов основной полосы частот и процессы AI/ML (MATLAB®, Python, C++)
- Совместное проектирование радиочастотных и миллиметровых схем и электромагнитных структур (ADS, RFPro, RFIC Design, EMPro)
- Моделирование сценариев, траекторий и распространения радиоволн (STK, Wireless InSite®, PropSim)
- Цифровой двойник сети и анализ на уровне системы (EXata)
- Валидация с учётом особенностей аппаратуры с использованием Signal Studio, VSA, WaveJudge, X-Apps, VXG и UXA
- Интеграция с радиочастотными измерительными приборами Keysight для корреляции между проектированием и испытаниями

- Открытые API и автоматизация на Python для настройки процессов и оркестрации с помощью AI
- Среды совместного моделирования на Linux и Windows

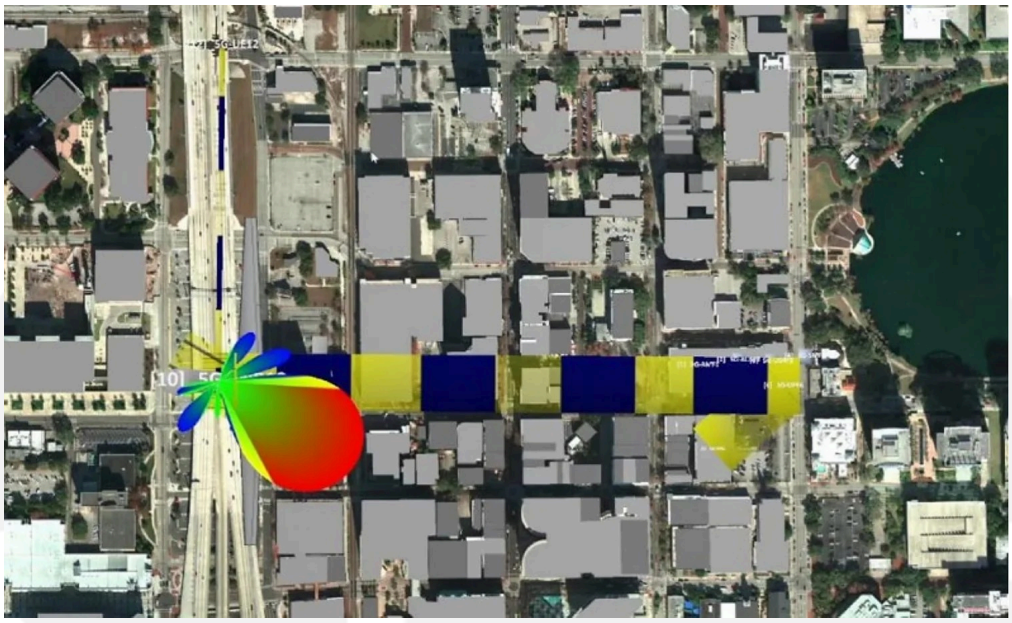


Рисунок 2. Формирование диаграммы направленности SystemVue внутри EXata Network Modeling

Инструменты для разработчика схем в ADS (Tools for the ADS Circuit Designer)

Системные архитекторы — не единственные инженеры, которые выигрывают от процессов цифровых двойников радиочастотных систем и моделирования на уровне системы. Благодаря тесной интеграции с Advanced Design System (ADS) и RFPro SystemVue распространяет высокоточный анализ радиочастотных систем непосредственно на среды проектирования схем, модулей и электромагнитных структур.

Соединяя процессы SystemVue на уровне системы с инструментами радиочастотного и электромагнитного проектирования на уровне схем, инженеры могут преодолеть разрыв между исследованием архитектуры и аппаратной реализацией, сохраняя тесную корреляцию между моделированием системы и характеристиками схемы. Эта интегрированная среда обеспечивает точность, близкую к уровню схемы, при оценке радиочастотных искажений, нелинейных эффектов, взаимодействий фазированных антенных решёток, формирования диаграммы направленности и качества широкополосной модуляции в реалистичных архитектурах систем.

Бесшовное взаимодействие между ADS и SystemVue позволяет проектировщикам эффективно переходить между анализом на уровне транзисторов, схем, электромагнитных структур и системы, ускоряя валидацию цифровых двойников радиочастотных систем и снижая риски разработки современных беспроводных, радиолокационных, спутниковых систем, систем с фазированными антенными решётками и систем аэрокосмической и оборонной отраслей.

RF System Explorer

RF System Explorer (RFSE) переносит возможности технологии цифровых двойников радиочастотных систем Spectrasys II непосредственно в среду проектирования ADS, позволяя разработчикам схем выполнять высокоточный анализ радиочастотных систем на раннем этапе проектирования. RFSE сочетает расширенный анализ каскада радиотракта (RF line-up analysis), диагностику распространения спектра и поведенческое моделирование, помогая инженерам быстро выявлять и устранять ограничения производительности, которые часто трудно обнаружить только с помощью традиционных методов моделирования схем.

RFSE обеспечивает глубокое понимание сложных радиочастотных взаимодействий, включая образование побочных составляющих, гармоническое смешение (harmonic mixing), тракты утечки, нелинейные искажения (nonlinear distortion), сжатие усиления (gain compression), распространение фазового шума и компромиссы частотного планирования. Интерактивные диаграммы бюджета, каскадные радиочастотные измерения и графические инструменты анализа первопричин (root-cause analysis) позволяют разработчикам быстро оценивать архитектурные решения, оптимизировать частотные планы и оценивать стратегии разбиения радиочастотного тракта на блоки (RF partitioning) при тесной корреляции с производительностью на уровне системы.

Платформа позволяет инженерам создавать более совершенную радиочастотную архитектуру на более раннем этапе проектирования, оценивая реалистичные радиочастотные искажения и взаимодействия на уровне системы до аппаратной реализации. Такая информированность на раннем этапе значительно сокращает число итераций проектирования и ускоряет сходимость к оптимизированным конструкциям радиочастотных подсистем.

RFSE также упрощает переход между процессами на уровне схем и на уровне системы благодаря формированию извлечённых поведенческих моделей (Extracted Behavioral Models, EBM) непосредственно из схем ADS. Эти поведенческие модели можно интегрировать в более крупные моделирования цифровых двойников радиочастотных систем в SystemVue, что позволяет эффективно оценивать, как реализации на уровне схем влияют на общую производительность системы,

формирование диаграммы направленности, эффекты распространения радиоволн и ключевые показатели эффективности.

Тесно связывая моделирование схем в ADS с анализом на уровне системы в SystemVue, RFSE позволяет инженерам преодолеть разрыв между исследованием радиочастотной архитектуры и аппаратной реализацией, повышая точность проектирования, снижая риски и ускоряя разработку современных беспроводных, радиолокационных, спутниковых систем, систем с фазированными антенными решётками и систем аэрокосмической и оборонной отраслей.

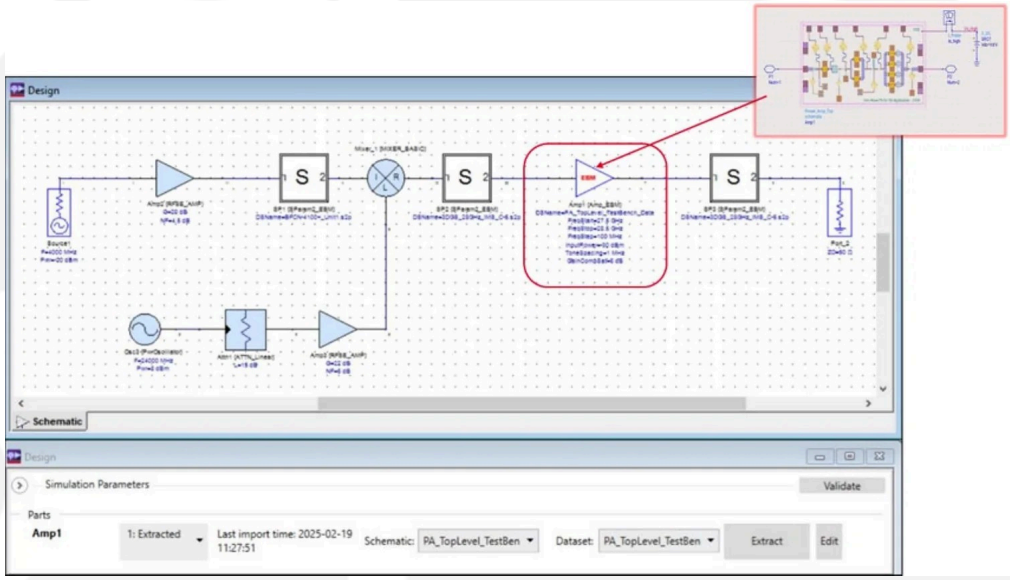


Рисунок 3. EBM в RF System Explorer

DPD Explorer

Цифровые предыскажения (Digital Predistortion, DPD) — критически важная технология для современных беспроводных и спутниковых передатчиков и передатчиков с фазированными антенными решётками, позволяющая усилителям мощности (Power Amplifiers, PA) работать с высоким КПД при соблюдении жёстких требований к линейности в системах 5G Advanced и формирующихся системах 6G. По мере роста полос сигналов, сложности агрегации несущих (carrier aggregation) и взаимодействий фазированных антенных решёток точное моделирование нелинейного поведения усилителей мощности и эффектов памяти (memory effects) становится необходимым для реалистичной валидации цифровых двойников радиочастотных систем.

DPD Explorer — расширенная рабочая среда, разработанная специально для разработчиков радиочастотных устройств и усилителей мощности для ускорения разработки и оптимизации архитектур нелинейных радиочастотных передатчиков. Встроенный непосредственно в ADS и основанный на технологиях поведенческого

моделирования SystemVue, DPD Explorer позволяет инженерам быстро оценивать линеаризуемость (linearizability) усилителей мощности, оптимизировать алгоритмы DPD и прогнозировать показатели, важные для конечного пользователя, такие как отношение мощности в соседнем канале (Adjacent Channel Power Ratio, ACPR), модуль вектора ошибки (Error Vector Magnitude, EVM), паразитное расширение спектра, КПД и пропускная способность (throughput), при реалистичных условиях модулированного сигнала.

Платформа использует те же методы измерений и те же алгоритмы анализа, что применяются в приборах Keysight PNA-X и приборах анализа сигналов, что обеспечивает тесную корреляцию между моделированием и измеренной производительностью аппаратуры. Инженеры могут быстро сравнивать смоделированное и измеренное поведение усилителей мощности, снижая зависимость от трудоёмких циклов аппаратных итераций.

Ключевая инновация DPD Explorer — динамическая модель усиления (Dynamic Gain Model, DGM), расширенная технология поведенческого моделирования, предназначенная для точного описания нелинейных эффектов памяти, динамического поведения усиления и взаимодействий широкополосных сигналов, присущих современным архитектурам усилителей мощности, таким как усилители Доэрти на нитриде галлия (GaN Doherty), слежение за огибающей (Envelope Tracking, ET), передатчики массивного MIMO и широкополосные системы с фазированными антенными решётками. DGM обеспечивает реалистичное радиочастотное моделирование с учётом особенностей аппаратуры при значительно более высокой скорости моделирования по сравнению с традиционными методами нелинейного моделирования.

Используя методы компактных сигналов (compact waveform) и поведенческие модели на основе измерений, DPD Explorer радикально ускоряет оптимизацию DPD и процессы валидации радиочастотных передатчиков при сохранении высокой точности моделирования. Разработчики могут эффективно исследовать компромиссы между КПД, линейностью, полосой, энергопотреблением и взаимодействиями формирования диаграммы направленности в сложных радиочастотных архитектурах.

Сочетая проектирование на уровне схем в ADS с технологиями цифровых двойников радиочастотных систем SystemVue, DPD Explorer обеспечивает быструю разработку усилителей мощности и передатчиков следующего поколения, снижая риски проектирования, сокращая циклы валидации и улучшая корреляцию между смоделированной и измеренной производительностью системы.

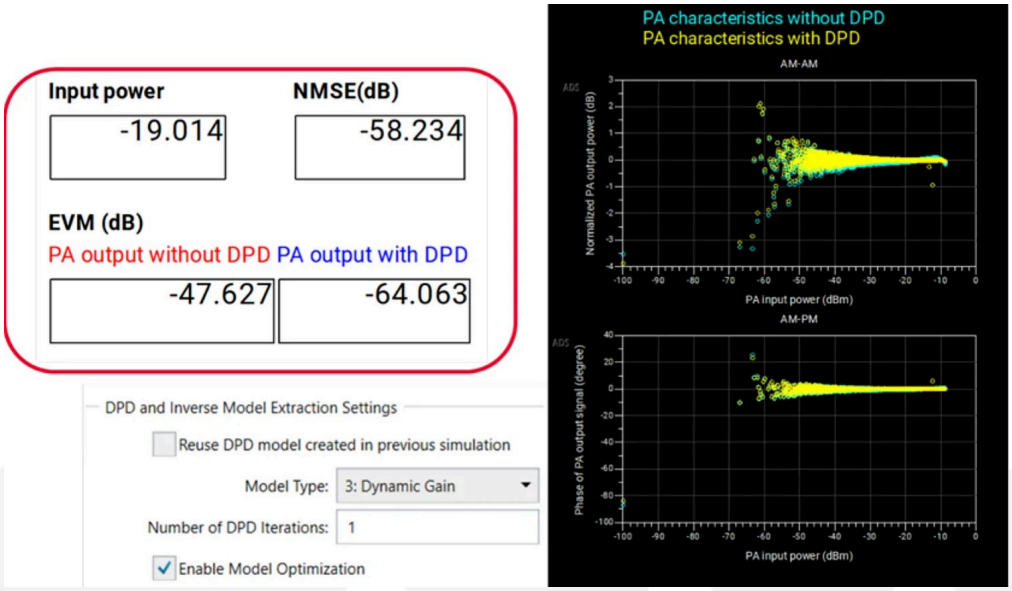


Рисунок 4. DPD Explorer и измерения EVM в ADS

Modulation Explorer

Modulation Explorer — расширенная среда анализа радиочастотной модуляции в ADS, позволяющая разработчикам радиочастотных устройств и систем эффективно оценивать влияние радиочастотных искажений, нелинейного поведения и реализаций на уровне схем на сложные модулированные сигналы. Сочетая моделирование схем с измерениями в области модуляции, Modulation Explorer преодолевает разрыв между проектированием радиочастотной аппаратуры и реальной производительностью системы связи.

Интегрированный с технологиями ADS и SystemVue, Modulation Explorer быстро даёт представление о ключевых показателях производительности беспроводных систем, включая модуль вектора ошибки (EVM), ACPR, паразитное расширение спектра, качество созвездия (constellation quality), точность модуляции (modulation accuracy), пропускную способность и целостность сигнала в реалистичных условиях эксплуатации. Инженеры могут непосредственно анализировать, как радиочастотные искажения — фазовый шум, нелинейные искажения, дисбаланс квадратур (IQ imbalance), утечка гетеродина (LO leakage), сжатие и эффекты памяти — влияют на производительность линии связи в современных беспроводных архитектурах.

Платформа поддерживает современные стандарты связи и схемы широкополосной модуляции, используемые в 5G NR, 5G Advanced, Wi-Fi, спутниковой связи, системах с фазированными антенными решётками и формирующихся исследованиях 6G. Разработчики могут быстро оценивать архитектуры радиочастотных входных трактов с помощью реалистичных модулированных сигналов и поведенческих моделей с

учётом особенностей аппаратуры, получая более раннее представление о компромиссах производительности на уровне системы.

Modulation Explorer использует методы измерений Keysight и тесно интегрируется с Signal Studio, векторным анализом сигналов (Vector Signal Analysis, VSA), WaveJudge и радиочастотными измерительными приборами Keysight для обеспечения тесной корреляции между моделированием и измеренным поведением аппаратуры. Применяя те же алгоритмы анализа модуляции, что используются в измерительном оборудовании Keysight, инженеры могут выстраивать надёжные процессы от проектирования к испытаниям и уменьшать расхождения между моделированием и лабораторной валидацией.

Интегрируя анализ в области модуляции непосредственно в процессы проектирования схем в ADS, Modulation Explorer обеспечивает более быструю оптимизацию радиочастотных передатчиков, приёмников, фазированных антенных решёток и нелинейных радиочастотных подсистем, снижая риски разработки и ускоряя вывод на рынок современных беспроводных и радиочастотных систем.

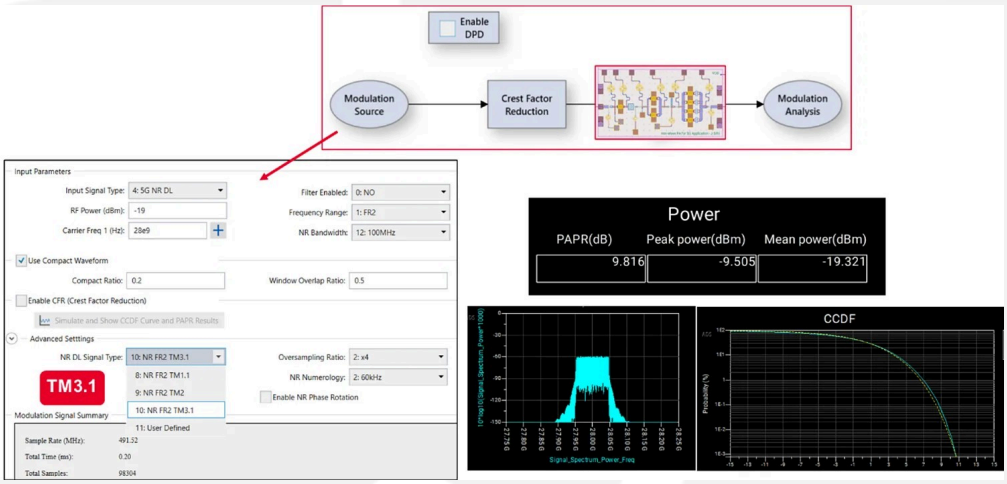


Рисунок 5. Modulation Explorer в ADS

Виртуальные тестовые стенды (Virtual Test Benches)

Виртуальные тестовые стенды (Virtual Test Benches, VTB) распространяют анализ реалистичных модулированных сигналов непосредственно на моделирование схем на уровне транзисторов в ADS и RFIC Design (Golden Gate). Сочетая технологии SystemVue Data Flow со средами моделирования на уровне схем, VTB позволяют инженерам валидировать радиочастотные интегральные схемы (RFIC), усилители мощности, трансиверы и смешанные аналого-цифровые схемы (mixed-signal) с помощью реалистичных сигналов связи и показателей производительности на уровне системы на раннем этапе разработки.

VTB создаётся в среде SystemVue Data Flow и служит многократно используемой основой валидации для разработчиков схем, работающих в ADS или RFIC Design. Эти тестовые стенды объединяют формирование реалистичных сигналов, радиочастотные искажения, обработку ЦОС, анализ модуляции и алгоритмы измерений в интегрированный процесс, позволяющий оценивать схемы на уровне транзисторов в реальных условиях эксплуатации.

VTB позволяют анализировать критические KPI, такие как EVM, ACPR, паразитное расширение спектра, пропускная способность, чувствительность к фазовому шуму, дисбаланс квадратур, нелинейные искажения и точность модуляции, непосредственно на уровне реализации схемы. Это позволяет инженерам понять, как поведение на уровне схемы влияет на общую производительность системы связи до изготовления аппаратуры.

Интегрированные процессы от проектирования к испытаниям используют те же методы измерений, что и приборы Keysight, улучшая корреляцию между моделированием и лабораторной валидацией. Инженеры могут эффективно оценивать современные архитектуры беспроводных, спутниковых RFIC, RFIC для фазированных антенных решёток и 5G/6G с помощью реалистичных сигналов на основе стандартов и методологий валидации системы с учётом особенностей аппаратуры.

Тесно связывая анализ сигналов на уровне системы с моделированием схем на уровне транзисторов, VTB значительно улучшают взаимодействие между системными архитекторами и разработчиками схем, сокращают число итераций проектирования, ускоряют верификацию и позволяют раньше обнаруживать ограничения производительности в сложных радиочастотных системах и системах со смешанными сигналами (mixed-signal).

Интеграция AI/ML (AI/ML Integration)

По мере развития беспроводной связи в сторону 5G Advanced и формирующихся систем 6G радиоинтерфейсы на основе искусственного интеллекта (AI-native air interfaces) и интеллектуальные радиоархитектуры становятся основополагающими технологиями будущих сетей. Отраслевые исследования и развитие 3GPP в направлении Release 20 и далее всё больше сосредоточены на применении искусственного интеллекта (Artificial Intelligence, AI) и машинного обучения (Machine Learning, ML) для оптимизации формирования диаграммы направленности, оценки канала, использования спектра, подавления помех (interference mitigation), распределения ресурсов и адаптивной беспроводной обработки.

SystemVue предоставляет расширенную платформу интеграции AI/ML, которая ускоряет разработку, валидацию и сравнительную оценку (benchmarking) беспроводных алгоритмов на основе ИИ в реалистичных средах цифровых двойников радиочастотных систем. Платформа позволяет инженерам объединять радиочастотные задачи, ЦОС, фазированные антенные решётки, распространение радиоволн и процессы AI/ML в единой среде моделирования, оценивая беспроводные алгоритмы с поддержкой ИИ в реалистичных условиях аппаратуры и канала.

В основе этой возможности лежит встроенный интерфейс AI_ML_Interface, обеспечивающий бесшовную интеграцию моделей AI/ML в процессы моделирования SystemVue. Интерфейс поддерживает стандартные отраслевые форматы моделей ONNX и TensorFlow, что позволяет инженерам импортировать и выполнять внешне обученные нейронные сети непосредственно в радиочастотном моделировании и моделировании основной полосы частот. Это обеспечивает реалистичное сравнение беспроводных алгоритмов, улучшенных с помощью ИИ, с традиционными реализациями систем связи.

Инженеры могут формировать реалистичные синтетические радиочастотные наборы данных для обучения нейронных сетей, импортировать внешне обученные модели AI/ML, сравнивать подходы на основе ИИ с традиционными алгоритмами и оценивать влияние на уровне системы на такие KPI, как EVM, отношение сигнал/(помеха + шум) (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio, SINR), пропускная способность, задержка (latency), точность формирования диаграммы направленности и спектральная эффективность (spectral efficiency). Примеры процессов включают сжатие информации о состоянии канала (Channel State Information, CSI) с помощью ИИ, адаптивное формирование диаграммы направленности, интеллектуальную оценку канала, компенсацию радиочастотных искажений и оптимизацию радиосвязи на основе ИИ.

Платформа AI/ML бесшовно интегрируется с процессами на основе Python и внешними экосистемами ИИ, обеспечивая оркестрацию с популярными средами машинного обучения и инструментами анализа данных. Открытые интерфейсы Python API и автоматизация без графического интерфейса поддерживают масштабируемое экспериментирование, быстрое исследование пространства проектных решений и процессы оптимизации с поддержкой ИИ для современных беспроводных систем, систем с фазированными антенными решётками, NTN, радиолокации, реконфигурируемых интеллектуальных поверхностей (Reconfigurable Intelligent Surface, RIS) и приложений интегрированного зондирования и связи (Integrated Sensing and Communication, ISAC).

Предоставляя единую среду разработки для радиочастотных инженеров, архитекторов ЦОС, разработчиков систем связи и специалистов по AI/ML, SystemVue способствует междисциплинарному сотрудничеству и ускоряет инновации. Этот интегрированный процесс сокращает циклы разработки, повышает учёт особенностей аппаратуры в алгоритмах ИИ и значительно сокращает время вывода на рынок беспроводных систем следующего поколения на основе ИИ.

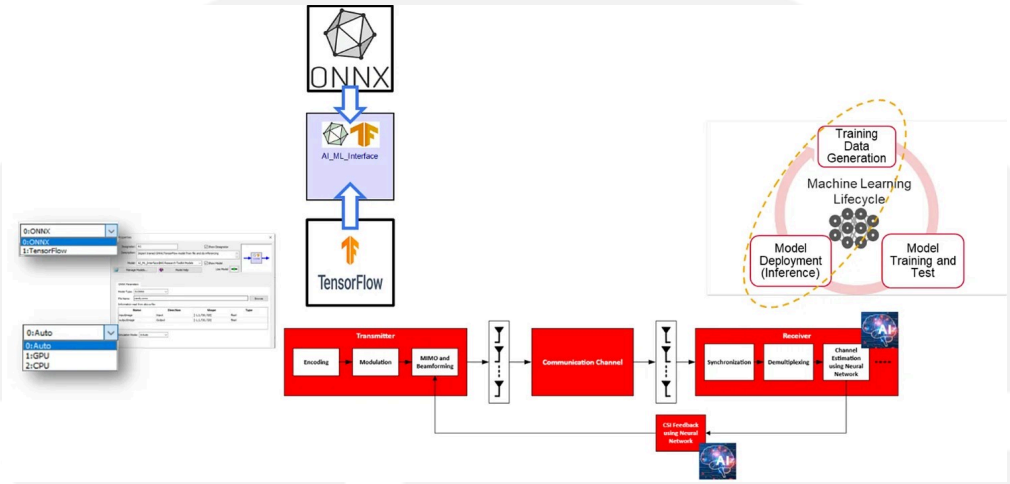


Рисунок 6. Модели AI/ML и SystemVue

Библиотеки для беспроводных систем (Wireless Libraries)

SystemVue предоставляет обширный набор прикладных библиотек, ускоряющих разработку современных беспроводных, спутниковых, радиолокационных систем, систем с фазированными антенными решётками и систем аэрокосмической и оборонной отраслей. Эти библиотеки позволяют инженерам быстро создавать прототипы, валидировать и оптимизировать сложные архитектуры цифровых двойников радиочастотных систем с помощью реалистичных сигналов, радиочастотных искажений, эффектов фазированных антенных решёток, моделей распространения радиоволн и процессов обработки сигналов на основе стандартов.

Платформа поддерживает передовые технологии, включая массивный MIMO, формирование диаграммы направленности фазированных антенных решёток, 5G Advanced, формирующиеся исследования 6G, NTN, ISAC, RIS, радиолокацию, радиоэлектронную борьбу, Wi-Fi, спутниковую связь и широкополосные радиочастотные системы. Инженеры могут использовать встроенные блоки обработки, соответствующие спецификациям, высокоточные радиочастотные поведенческие модели и эталонные проекты на основе стандартов, а также интегрировать пользовательскую интеллектуальную собственность (IP) на основе MATLAB®, Python, C++, ONNX и TensorFlow непосредственно в проекты моделирования SystemVue.

Тел.: +7 (495) 252-00-96
Email: info-site@akmetron.ru
Адрес: Москва, ул. Рабочая, д.93 стр.2, под. 2.

SystemVue включает полные библиотеки верификации и исследования, охватывающие:

- 5G NR и 5G Advanced
- исследования формирующихся сигналов 6G
- радиолокационные системы и системы радиоэлектронной борьбы
- NTN и спутниковую связь
- проектирование трансиверов Wi-Fi 7 и Wi-Fi 8
- DVB-S2/S2X и широкополосные спутниковые линии
- беспроводные средства подключения и архитектуры цифровых модемов
- системы сверхширокополосной связи (Ultra-Wideband, UWB), Ambient IoT и маломощные беспроводные системы

Библиотеки верификации (Verification Libraries) предоставляют скомпилированные передатчики, приёмники, эталонные проекты, радиочастотные искажения, модели каналов и реализации физического уровня (PHY) в соответствии со стандартами, оптимизированные для высокой производительности моделирования и валидации с учётом особенностей аппаратуры. Эти библиотеки позволяют инженерам формировать, анализировать и валидировать сложные сигналы физического уровня и тестовые векторы, оценивая показатели производительности системы, такие как EVM, SINR, пропускная способность, спектральная эффективность, точность формирования диаграммы направленности и задержка.

Интегрированные процессы от проектирования к испытаниям обеспечивают бесшовное совместное проектирование и валидацию с испытательным оборудованием Keysight, VSA, Signal Studio, платформами WaveJudge и системами аппаратной разработки.

Библиотеки исследования (Exploration Libraries) расширяют эти возможности за счёт открытых и настраиваемых сред разработки физического уровня с редактируемым исходным кодом, эталонными алгоритмами и подробной документацией по стандартам. Инженеры могут быстро оценивать альтернативные радиоинтерфейсы, разрабатывать собственные алгоритмы, сравнивать реализации открытых стандартов и интегрировать пользовательские процессы обработки сигналов с улучшениями AI/ML в моделирования цифровых двойников радиочастотных систем.

Сочетая высокопроизводительные скомпилированные модели с гибкой расширяемостью пользователем, библиотеки SystemVue обеспечивают быстрые инновации, ускоряют исследование стандартов, упрощают разработку алгоритмов и

снижают сложность валидации радиочастотных и беспроводных систем следующего поколения.

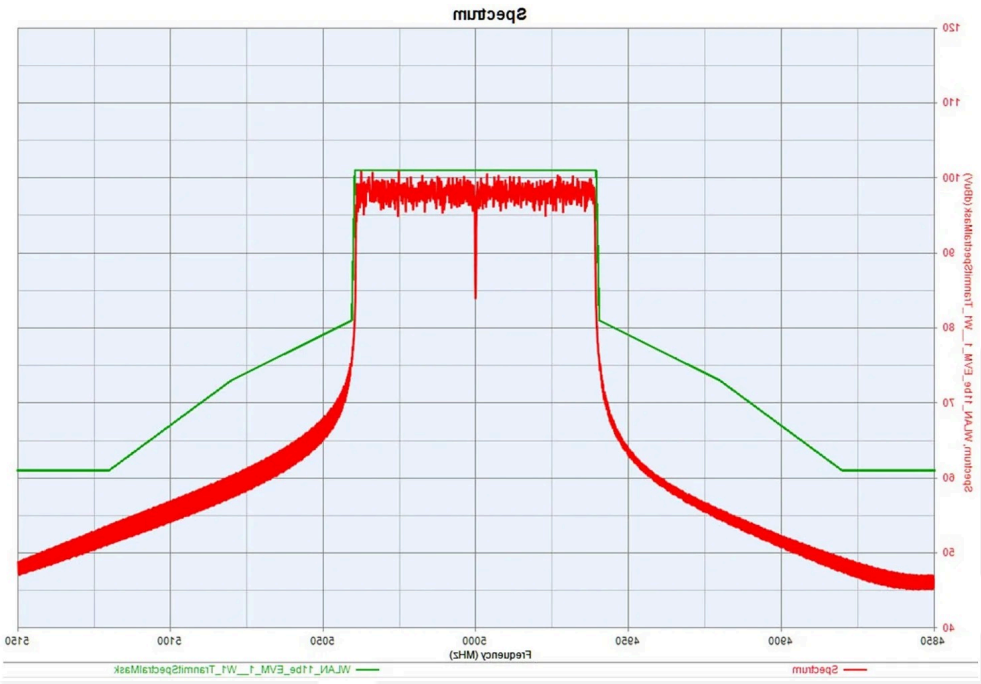


Рисунок 7. Маска спектра излучения Wi-Fi 7/8

Радиолокация (Radar)

Среда Aerospace & Defense (A&D) Designer в SystemVue предоставляет масштабируемую среду цифрового двойника радиочастотной системы для анализа, оптимизации и валидации современных радиолокационных систем, систем радиоэлектронной борьбы, спутниковых систем, систем зондирования и радиочастотных систем уровня миссии. Сочетая высокоточное радиочастотное моделирование, анализ фазированных антенных решёток, реалистичные среды распространения радиоволн и расширенные технологии визуализации, платформа позволяет инженерам быстро оценивать сложные сценарии аэрокосмической и оборонной отраслей с большей реалистичностью и эффективностью.

A&D Designer интегрирует интуитивный редактор на основе сценариев, расширенные технологии радиочастотного моделирования и мощную среду трёхмерной визуализации, упрощая разработку очень сложных радиочастотных систем и эксплуатационных сценариев. Редактор A&D Editor позволяет инженерам эффективно настраивать платформы, траектории, фазированные антенные решётки, режимы работы радиолокаторов, среды распространения радиоволн и сценарии радиочастотных угроз с помощью упрощённого графического процесса. В дополнение к этому средство A&D Visualizer обеспечивает наглядную трёхмерную визуализацию сред миссий, сканирования луча, движения целей, траекторий

платформ, анализа покрытия и радиочастотных взаимодействий для улучшения понимания ситуации и валидации системы.

Основанная на технологиях цифровых двойников радиочастотных систем SystemVue и интегрированных библиотеках A&D, платформа поддерживает реалистичное моделирование радиочастотных искажений, нелинейного поведения аппаратуры, формирования диаграммы направленности фазированных антенных решёток, эффектов распространения радиоволн, эффекта Доплера (Doppler effect), помех и динамических сред миссий. Инженеры могут быстро исследовать компромиссы системы, оптимизировать архитектуры и валидировать производительность в реалистичных условиях эксплуатации до развёртывания аппаратуры.

A&D Designer включает предопределённые процессы и настраиваемые шаблоны для широкого спектра приложений радиолокации, радиоэлектронной борьбы, зондирования и связи, сохраняя полную гибкость для пользовательской разработки миссий и передовых исследовательских процессов.

Поддерживаемые приложения:

- архитектуры импульсных и импульсно-доплеровских радиолокаторов;
- многопозиционные (multi-static) и распределённые радиолокационные системы с движущимися наземными, воздушными, морскими и космическими платформами;
- радиолокаторы MIMO и радиолокаторы с цифровыми антенными решётками;
- радиоэлектронная борьба и анализ радиочастотных угроз;
- интегрированное зондирование и связь (ISAC);
- радиолокаторы с фазированными антенными решётками и адаптивное формирование диаграммы направленности;
- радиолокаторы с синтезированной апертурой (Synthetic Aperture Radar, SAR) и сверхширокополосные радиолокаторы;
- радиолокационные системы с частотно-модулированным непрерывным излучением (FMCW) для автомобильных и оборонных приложений;
- анализ полезной нагрузки спутников и миссий NTN;
- процессы встроенного формирования сигналов и валидации с аппаратурой в контуре (hardware-in-the-loop).

SystemVue поддерживает расширенное формирование радиолокационных сигналов и реалистичное моделирование импульсов, включая эффекты времени нарастания и спада, вобуляцию частоты повторения импульсов (Pulse Repetition Frequency staggering, PRF staggering), адаптивное управление формой сигнала и динамические

радиочастотные искажения для повышения точности и реалистичности моделирования радиолокационных систем и систем радиоэлектронной борьбы.

Интегрированные процессы с STK, EXata, RFPro, WaveJudge, измерительными приборами Keysight и средствами моделирования распространения радиоволн обеспечивают анализ на уровне миссии, оценку покрытия, моделирование с учётом сетевых аспектов (network-aware) и валидацию цифровых двойников радиочастотных систем, коррелированную с аппаратурой, в сложных средах аэрокосмической и оборонной отраслей.

Сочетая масштабируемое моделирование, реалистичное радиочастотное моделирование, технологии фазированных антенных решёток и визуализацию на уровне миссии в единой интегрированной платформе, A&D Designer ускоряет инновации, снижая риски разработки и время валидации систем аэрокосмической и оборонной отраслей следующего поколения.

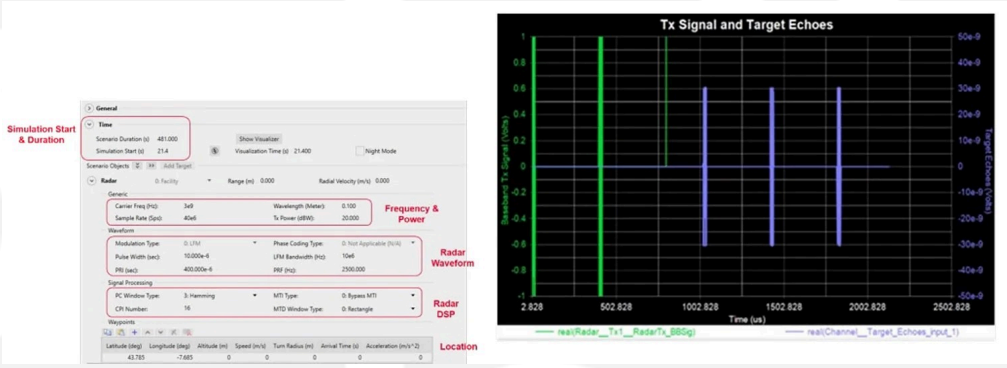


Рисунок 7. Радиолокационный сигнал Tx и эхо-сигналы (справа) и редактор AD (слева)

Автомобильные радиолокаторы (Automotive Radar)

SystemVue предоставляет комплексную среду цифрового двойника радиочастотной системы для разработки, оптимизации и валидации современных автомобильных радиолокационных систем. Платформа объединяет в едином процессе формирование сигналов, формирование диаграммы направленности фазированных антенных решёток, моделирование антенн, анализ распространения радиоволн, радиочастотные искажения, моделирование целей и обработку сигналов, позволяя инженерам эффективно разрабатывать архитектуры радиолокаторов следующего поколения с более высокой точностью и сниженным риском проектирования.

Библиотека автомобильных радиолокаторов (Automotive Radar Library) поддерживает сквозное моделирование современных радиолокационных систем, включая архитектуры FMCW, MIMO, с цифровыми антенными решётками и с фазированными

антенными решётками. Инженеры могут моделировать реалистичные передатчики, приёмники, антенны, каналы распространения, цели, среды помех и цепочки обработки радиолокационных сигналов, оценивая критические показатели производительности, такие как разрешение по дальности (range resolution), точность по доплеровской частоте, угловое разрешение (angular resolution), вероятность обнаружения (detection probability) и устойчивость к помехам.

SystemVue обеспечивает бесшовную интеграцию между радиочастотной областью, областью антенн и областью обработки сигналов, позволяя разработчикам оценивать реалистичное поведение радиолокатора в динамических условиях движения и сложных условиях распространения радиоволн. Платформа поддерживает расширенные методы обработки радиолокационных сигналов, включая:

- оценку направления прихода сигнала (Direction-of-Arrival, DOA);
- формирование диаграммы направленности и адаптивное сканирование луча;
- методы фазового сравнения (phase comparison);
- обработку сигналов радиолокатора MIMO;
- сопровождение нескольких целей (multi-target tracking);
- анализ помех между радиолокаторами (radar interference);
- оценку радиолокаторов по радиоинтерфейсу (Over-the-Air, OTA) и радиолокаторов с фазированными антенными решётками;
- процессы радиолокационной обработки с поддержкой ИИ.

Библиотека автомобильных радиолокаторов включает практические эталонные примеры и настраиваемые процессы, такие как обнаружение нескольких целей FMCW, обработка сигналов радиолокатора MIMO, сканирование луча радиолокатора с фазированной антенной решёткой и трёхмерная визуализация автомобильной радиолокационной сцены. Эти примеры ускоряют разработку и упрощают переход от исследования алгоритмов к прототипированию и аппаратной валидации.

Интегрированные процессы от проектирования к испытаниям позволяют взаимодействовать с измерительными приборами Keysight, включая генераторы сигналов произвольной формы, векторные генераторы сигналов, осциллографы и векторные анализаторы сигналов. Инженеры могут сопоставлять результаты моделирования с измеренными аппаратными данными, что обеспечивает валидацию радиолокаторов с учётом особенностей аппаратуры и повышает уверенность в реальной производительности системы.

SystemVue также поддерживает реалистичное моделирование каналов и среды благодаря интеграции с электромагнитными средствами и средствами моделирования распространения радиоволн, такими как Ansys HFSS SBR+, что позволяет импортировать данные характеристики канала (channel response) в моделирования автомобильных радиолокаторов. Эта возможность обеспечивает высокореалистичное моделирование многолучевого распространения (multipath), отражений, помех от местных предметов (clutter), взаимодействий транспортных средств и сложных дорожных сценариев для современных архитектур радиолокаторов MIMO и с фазированными антенными решётками.

Сочетая масштабируемые технологии цифровых двойников радиочастотных систем, реалистичное моделирование распространения радиоволн, моделирование фазированных антенных решёток и процессы валидации, коррелированные с аппаратурой, SystemVue ускоряет разработку автомобильных радиолокационных систем следующего поколения, сокращая число итераций проектирования, повышая надёжность системы и сокращая время вывода на рынок.

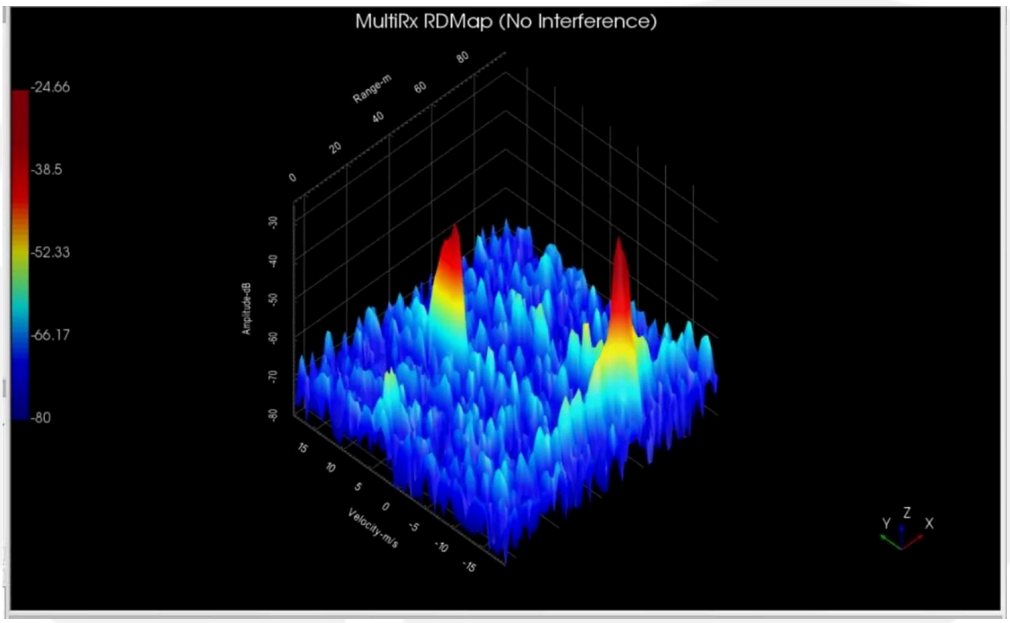


Рисунок 9. Диаграмма «дальность — доплеровская частота» радиолокатора (Radar range-doppler plot)

Wi-Fi и средства подключения (Wi-Fi and Connectivity)

SystemVue предоставляет комплексную среду цифрового двойника радиочастотной системы для проектирования, оптимизации и валидации современных систем Wi-Fi и беспроводного подключения. Библиотека Wi-Fi и средств подключения (Wi-Fi and Connectivity Library) объединяет высокоточное радиочастотное моделирование, ЦОС для связи, анализ фазированных антенных решёток, реалистичное моделирование

распространения радиоволн и процессы валидации с учётом особенностей аппаратуры в единой платформе для разработки микросхем и систем подключения следующего поколения. Недавние улучшения дополнительно расширяют поддержку Wi-Fi 7/8, сверхширокополосной связи (Ultra-Wideband, UWB), беспроводных исследований с поддержкой ИИ и анализа подключения с учётом радиочастотных искажений.

Платформа обеспечивает сквозное моделирование сложных архитектур беспроводного подключения, позволяя инженерам оценивать радиочастотные искажения, нелинейное поведение, проблемы сосуществования, производительность формирования диаграммы направленности, точность модуляции, пропускную способность, задержку, спектральную эффективность и энергопотребление в реалистичных условиях эксплуатации. Интегрируя анализ радиочастотной части, основной полосы частот, антенн и распространения радиоволн в единой среде, SystemVue ускоряет исследование проектных решений, снижая риски разработки новых решений Wi-Fi и беспроводного подключения.

Библиотека Wi-Fi и средств подключения включает формирование сигналов на основе стандартов, эталонные модели передатчиков и приёмников, радиочастотные искажения, расширенные модели каналов и алгоритмы ЦОС, поддерживающие:

- Wi-Fi 7 (IEEE 802.11be)
- исследования раннего Wi-Fi 8 (802.11bn)
- Bluetooth и Bluetooth Low Energy (BLE)
- Zigbee и IEEE 802.15.4
- системы измерения дальности и позиционирования UWB
- ГНСС (GNSS) и навигационные линии передачи данных

SystemVue значительно расширяет процессы Wi-Fi 7 и подключения новыми архитектурами приёмников IEEE 802.11be, конвейерами приёмников MIMO, улучшениями анализа EVM, поддержкой повышающей и понижающей дискретизации (up/down sampling) и валидацией маски спектра излучения (Spectrum Emission Mask, SEM) для соответствия нормативным требованиям. Платформа теперь поддерживает реалистичный полнодиапазонный анализ MIMO Wi-Fi 7, процессы синхронизации и коррекции смещения несущей частоты (Carrier Frequency Offset, CFO), оценку канала (channel estimation), эквализацию (equalization), отслеживание фазы (phase tracking) и расширенную валидацию приёмников физического уровня.

Для систем UWB и IEEE 802.15.4/4z/4ab SystemVue вводит расширенные измерения дальности и качества импульса, включая анализ корреляции RRC, валидацию маски

спектра, проверку маски импульса, анализ неопределённости по времени и расширенные процессы EVM. Эти возможности помогают инженерам оценивать точность измерения дальности, радиочастотные искажения, влияние антенн, изменение формы спектра, интероперабельность и соответствие нормативным требованиям в системах позиционирования следующего поколения.

Интегрированные процессы цифровых предыскажений (DPD) и динамические модели усиления (DGM) обеспечивают реалистичную оценку нелинейных радиочастотных передатчиков и усилителей мощности для систем Wi-Fi с высокой пропускной способностью и широкополосных систем подключения. Инженеры могут оценивать ACPR, EVM, паразитное расширение спектра, поведение при сосуществовании и производительность формирования диаграммы направленности с помощью реалистичных схем широкополосной модуляции и радиочастотных поведенческих моделей с эффектами памяти и учётом особенностей аппаратуры.

SystemVue также предоставляет сквозные процессы от проектирования к испытаниям с использованием Signal Studio для формирования сигналов и VSA, X-Apps, WaveJudge и измерительных приборов Keysight для анализа модуляции и корреляции с аппаратурой. Эти интегрированные процессы позволяют инженерам валидировать результаты моделирования по измеренной производительности аппаратуры, сводя к минимуму расхождения между средами проектирования и испытаний.

Сочетая масштабируемые процессы цифровых двойников радиочастотных систем, реалистичное моделирование радиочастотных искажений, валидацию на основе стандартов, интеграцию AI/ML и интеграцию испытаний с учётом особенностей аппаратуры, SystemVue позволяет инженерам ускорять инновации и добиваться большей уверенности в проектах Wi-Fi и беспроводного подключения следующего поколения.

Тел.: +7 (495) 252-00-96
Email: info-site@akmetron.ru
Адрес: Москва, ул. Рабочая, д.93 стр.2, под. 2.

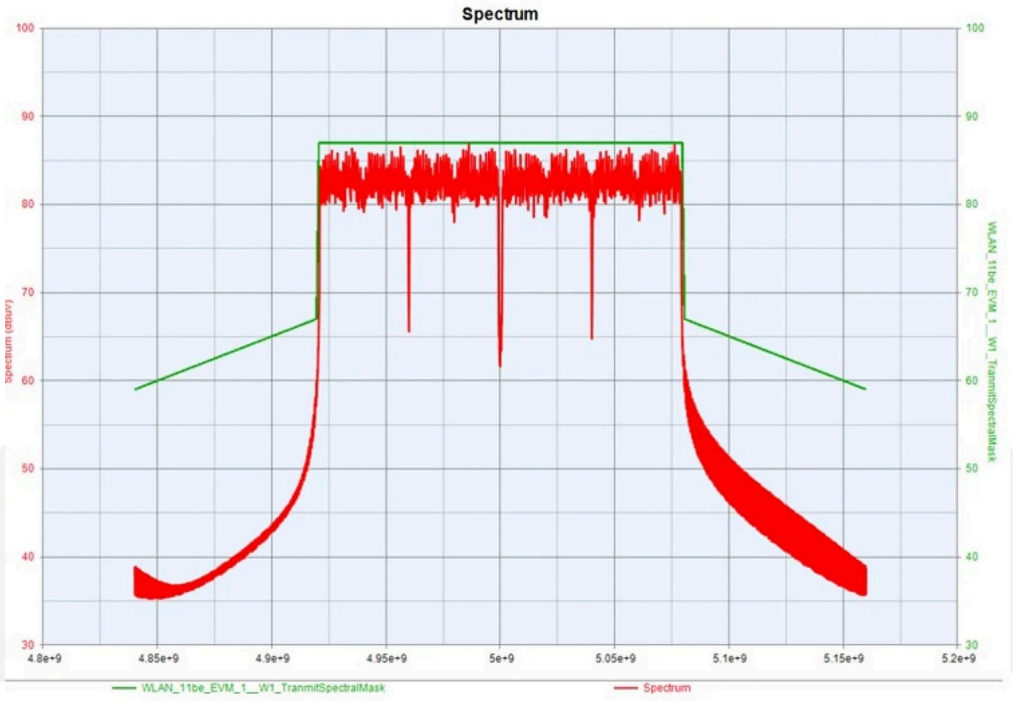


Рисунок 10. Маска спектра излучения Wi-Fi 7 (802.11be)

Библиотека 5G/6G и сотовой связи (5G/6G & Cellular Library)

SystemVue предоставляет комплексную среду цифрового двойника радиочастотной системы для проектирования, оптимизации и валидации современных сотовых систем, систем NTN, фазированных антенных решёток и беспроводных систем 6G. Интегрируя в единой масштабируемой платформе радиочастотное моделирование, ЦОС для связи, анализ фазированных антенных решёток, моделирование распространения радиоволн и процессы AI/ML, SystemVue позволяет инженерам точно оценивать архитектуры беспроводных систем следующего поколения в реалистичных условиях эксплуатации.

Библиотека сотовой связи (Cellular Library) включает эталонные архитектуры передатчиков и приёмников на основе стандартов для LTE Advanced, 5G NR, 5G Advanced, NTN и процессов исследований формирующихся систем 6G. Инженеры могут моделировать полные системы связи физического уровня, оценивая радиочастотные искажения, нелинейное поведение аппаратуры, формирование диаграммы направленности, эффекты распространения радиоволн, сосуществование, задержку, пропускную способность, спектральную эффективность и энергопотребление в реалистичных беспроводных средах.

SystemVue поддерживает сквозные процессы моделирования, охватывающие обработку в основной полосе частот, моделирование радиочастотных входных трактов, формирование диаграммы направленности фазированных антенных

решёток, интеграцию антенн, каналы распространения и валидацию по радиоинтерфейсу (OTA). Поддерживаются расширенные многоантенные архитектуры, включая цифровое формирование диаграммы направленности, аналоговое формирование диаграммы направленности, гибридное формирование диаграммы направленности, массивный MIMO и конфигурации полезной нагрузки с фазированными антенными решётками для наземных и неназемных сетей.

Платформа включает поддержку ЦОС и моделирования каналов на основе стандартов для:

- каналов и сигналов физического уровня 5G NR в соответствии со спецификациями 3GPP;
- 3GPP TS 38.211 «Физические каналы и модуляция» (Physical Channels and Modulation);
- 3GPP TS 38.212 «Мультиплексирование и канальное кодирование» (Multiplexing and Channel Coding);
- моделей каналов 3GPP TR 38.901;
- процессов каналов и распространения радиоволн NTN в соответствии с 3GPP;
- моделирования по радиоинтерфейсу (OTA) для систем миллиметрового диапазона и систем с фазированными антенными решётками;
- архитектур массивного MIMO и многоканального формирования диаграммы направленности;
- беспроводных исследований на основе ИИ (AI-native) и исследования сигналов 6G.

SystemVue вводит существенные улучшения для 5G Advanced и формирующихся исследований 6G, включая карты покрытия NTN, ISAC, RIS, улучшения для фазированных антенных решёток, интеграцию AI/ML и расширенное моделирование радиочастотных искажений. Новые возможности NTN позволяют реалистично моделировать эффект Доплера, задержку, замирания (fading), формирование диаграммы направленности полезной нагрузки с фазированными антенными решётками, распространение на абонентской линии (service-link), радиочастотные искажения и формирование карт покрытия без использования внешних средств визуализации спутников.

Платформа также предоставляет расширенные процессы моделирования интегрированного зондирования и связи (ISAC) и реконфигурируемых интеллектуальных поверхностей (RIS). Инженеры могут моделировать моностатические (mono-static) и бистатические (bi-static) системы зондирования с использованием сигналов 5G NR, оценивая радиочастотные искажения,

обнаружение целей, поведение формирования диаграммы направленности, квантование фазы и амплитуды RIS, эффекты распространения радиоволн и оптимизацию зондирования с поддержкой ИИ.

SystemVue дополнительно ускоряет беспроводные исследования на основе ИИ благодаря встроенному интерфейсу AI_ML_Interface, поддерживающему интеграцию моделей ONNX и TensorFlow непосредственно в моделирования беспроводных систем. Инженеры могут формировать реалистичные радиочастотные наборы данных для обучения, импортировать предварительно обученные нейронные сети и сравнивать алгоритмы на основе ИИ с традиционными методами связи в реалистичных средах цифровых двойников радиочастотных систем.

Включённые примеры процессов AI/ML поддерживают:

- сжатие обратной связи CSI на основе ИИ;
- оценку канала с помощью нейронных сетей;
- оптимизацию формирования диаграммы направленности на основе ИИ;
- обработку в беспроводном приёмнике с поддержкой ИИ;
- формирование наборов данных для обучения при разработке нейронных сетей.

Платформа бесшовно интегрируется с Signal Studio, VSA, WaveJudge, PROPSIM, RFPro, ADS, STK, EXata и измерительными приборами Keysight для создания единых процессов от проектирования к испытаниям с тесной корреляцией с аппаратурой.

Сочетая масштабируемые цифровые двойники радиочастотных систем, валидацию на основе стандартов, моделирование фазированных антенных решёток, интеграцию AI/ML и процессы верификации с учётом особенностей аппаратуры, SystemVue позволяет инженерам ускорять инновации и снижать риски разработки беспроводных систем 5G Advanced и формирующихся систем 6G.

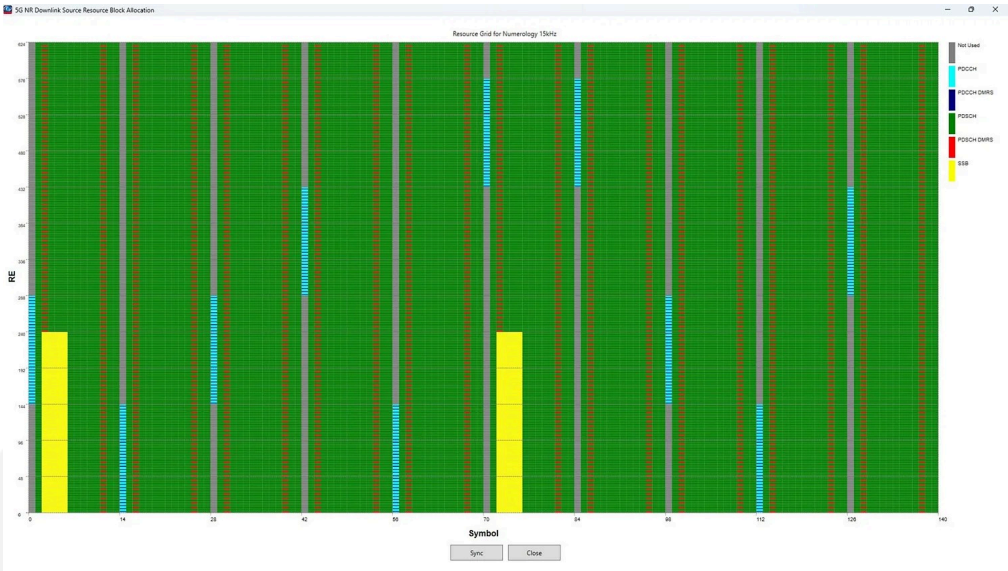


Рисунок 11. Цветовое представление структуры нисходящего сигнала 5G NR и физических каналов

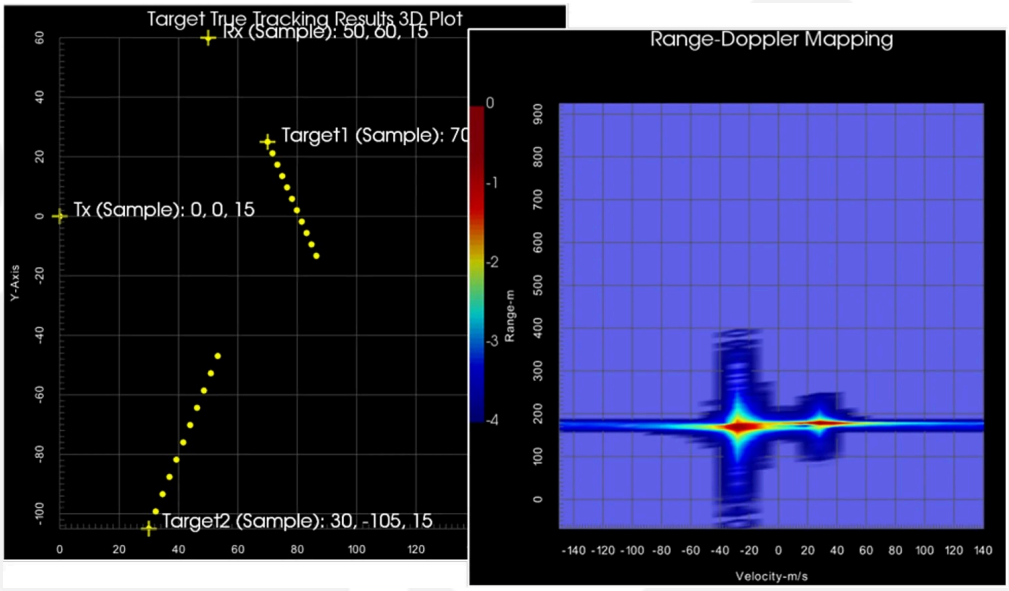


Рисунок 12. Снимки обнаружения нескольких целей в бистатическом режиме ISAC

Спутниковая связь (Satellite Communications)

SystemVue предоставляет комплексную среду цифрового двойника радиочастотной системы для проектирования, оптимизации и валидации современных систем неназемных сетей (Non-Terrestrial Network, NTN) и спутниковой связи. Объединяя в единой платформе радиочастотное моделирование, анализ фазированных антенных решёток, моделирование распространения радиоволн, формирование диаграммы направленности, обработку в основной полосе частот и реалистичные искажения

канала, SystemVue позволяет инженерам точно оценивать спутниковые архитектуры и архитектуры NTN до развёртывания аппаратуры.

Решение NTN опирается на расширенные возможности модели канала 5G NR NTN (5G NR NTN Channel Model) SystemVue в соответствии с 3GPP TR 38.811 и спецификациями 3GPP NTN. Эти процессы поддерживают реалистичное моделирование на уровне линии связи и на уровне системы для сценариев связи GEO, MEO, LEO, HAPS и воздушной связи, моделируя критические эффекты NTN, такие как:

- большие задержки распространения;
- большие доплеровские сдвиги и дрейф доплеровской частоты;
- динамические траектории спутников;
- потери на трассе и атмосферные искажения;
- быстрые замирания и эффекты мобильности;
- формирование диаграммы направленности полезной нагрузки с фазированными антенными решётками;
- каналы распространения абонентской линии и фидерной линии (service and feeder link);
- радиочастотные искажения и нелинейности аппаратуры.

SystemVue значительно расширяет возможности NTN за счёт интегрированного формирования карт покрытия, моделирования полезной нагрузки спутников с поддержкой фазированных антенных решёток, анализа бюджета линии связи (link budget) с учётом радиочастотных особенностей и динамической оценки системы на основе траекторий. Инженеры могут формировать карты KPI на больших территориях, такие как индикатор уровня принимаемого сигнала (Received Signal Strength Indicator, RSSI) и отношение несущей к шуму (Carrier-to-Noise Ratio, CNR), оценивая сканирование лучей полезной нагрузки, движение спутников и производительность абонентского терминала в реалистичных условиях эксплуатации. Эти процессы теперь поддерживают визуализацию на основе MATLAB и Python и не требуют интеграции с внешним STK для формирования карт покрытия.

Платформа поддерживает сквозные процессы цифровых двойников NTN, включая формирование сигналов, формирование диаграммы направленности фазированных антенных решёток, обработку радиочастотной полезной нагрузки, распространение на абонентской линии, моделирование приёмника пользовательского оборудования (User Equipment, UE) и оценку KPI. Это обеспечивает быстрое проектирование, исследование и оптимизацию для:

- широкополосной связи напрямую с устройством (Direct-to-device);
- NB-IoT через NTN;
- проектирования полезной нагрузки спутников;
- регенеративных архитектур и архитектур с прозрачным ретранслятором (bent-pipe);
- многолучевых спутниковых систем;
- оптимизации лучей с поддержкой ИИ;
- исследований NTN 5G Advanced и формирующихся систем 6G.

SystemVue также предоставляет расширенные процессы DVB-S2/S2X и спутниковой связи (SatCom) с интегрированными тестовыми стендами на основе программного обеспечения Keysight Signal Studio и векторного анализа сигналов (Vector Signal Analysis, VSA). Эти процессы упрощают формирование сигналов, анализ сигналов и корреляцию с аппаратурой, обеспечивая единую методологию измерений в средах моделирования и лабораторной валидации.

Возможности моделирования каналов спутниковой связи (SatCom Channel Modeling) поддерживают реалистичное моделирование на нескольких спутниковых платформах и в сценариях связи, включая системы GEO, MEO, LEO и воздушные системы. Инженеры могут оценивать устойчивость линии связи, пропускную способность, задержку, покрытие лучами и радиочастотные искажения в реалистичных условиях распространения, одновременно интегрируя антенны с фазированными решётками, эффекты радиочастотных входных трактов и динамическую мобильность.

Тесная интеграция с анализом фазированных антенных решёток, RFPro, ADS, EXata, STK, PROPSIM, WaveJudge и измерительными приборами Keysight обеспечивает единые процессы проектирования и испытаний на уровне миссии с тесной корреляцией с аппаратурой. Интеграция AI/ML и автоматизация на Python дополнительно ускоряют оптимизацию адаптивного формирования диаграммы направленности, распределения спутниковых ресурсов и архитектур NTN на основе ИИ.

Сочетая масштабируемые цифровые двойники радиочастотных систем, реалистичное моделирование распространения радиоволн и радиочастотных искажений, анализ полезной нагрузки с фазированными антенными решётками, валидацию на основе стандартов и процессы с учётом особенностей аппаратуры, SystemVue позволяет инженерам ускорять инновации и снижать риски разработки систем NTN и спутниковой связи следующего поколения.

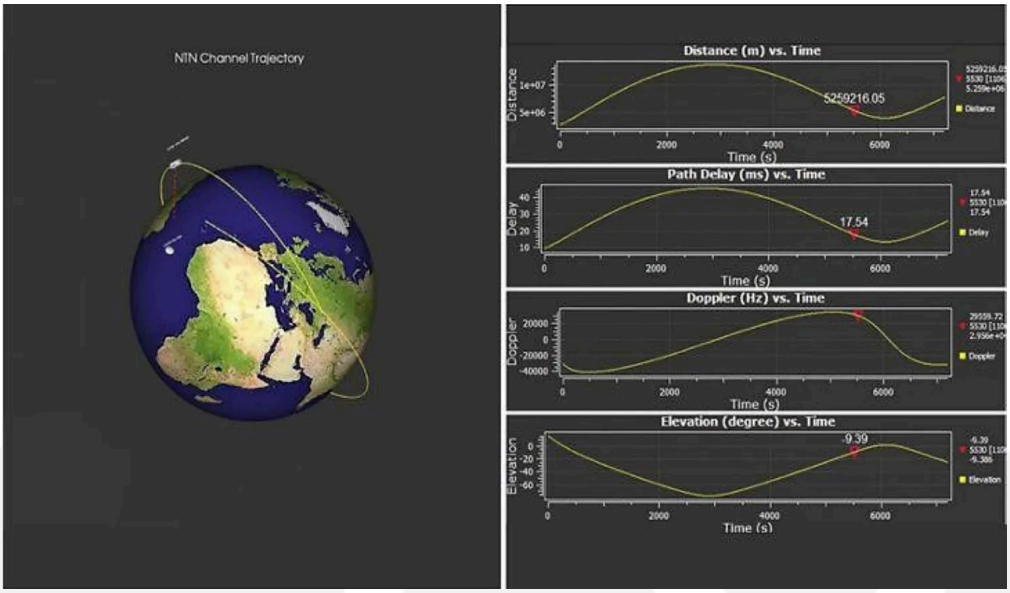


Рисунок 13. Отображение траектории канала NTN с режимом воспроизведения

Библиотека радиочастотных систем (RF System Library)

Библиотека радиочастотного проектирования (RF Design Library) в SystemVue предоставляет полный набор высокоточных радиочастотных поведенческих моделей и моделей на основе измерений для моделирования в Spectrasys II и WhatIF, обеспечивая быструю разработку и валидацию сложных архитектур радиочастотных систем. Библиотека включает широкий набор радиочастотных компонентов с реалистичным частотно-зависимым и нелинейным поведением, что позволяет инженерам точно моделировать полные радиочастотные тракты сигнала с учётом критических искажений и аппаратных эффектов.

SystemVue поддерживает расширенные процессы цифровых двойников радиочастотных систем благодаря реалистичному моделированию:

- сжатия усиления и нелинейных искажений;
- фазового шума и искажений генераторов;
- преобразования частоты и побочных составляющих;
- коэффициента шума и распространения широкополосного шума;
- дисбаланса квадратур (IQ imbalance) и утечки гетеродина (LO leakage);
- эффектов памяти и динамического нелинейного поведения;
- активного импеданса и эффектов связи фазированных антенных решёток;
- радиочастотных характеристик, зависящих от температуры и смещения.

Тел.: +7 (495) 252-00-96
Email: info-site@akmetron.ru
Адрес: Москва, ул. Рабочая, д.93 стр.2, под. 2.

Библиотека радиочастотного проектирования использует расширенную архитектуру Spectrasys II, которая вводит модульные каркасы радиочастотных моделей (frameworks), многомерное моделирование радиочастотных параметров, S-параметры на основе уравнений и улучшенное поведенческое моделирование на основе измерений. SystemVue поддерживает моделирование с несколькими независимыми параметрами (MIP), позволяя радиочастотному поведению динамически изменяться в зависимости от частоты, мощности, смещения, температуры и условий управления с использованием измеренных или смоделированных многомерных наборов данных.

SystemVue также включает расширенные технологии нелинейного моделирования, такие как динамическая модель усиления (DGM), обеспечивающая высокоточное представление широкополосных нелинейных устройств, включая усилители мощности, смесители и преобразователи частоты с эффектами памяти и поведением, зависящим от сигнала.

Дополнительные радиочастотные библиотеки доступны от Keysight и ведущих производителей компонентов, включая Analog Devices, Mini-Circuits, Qorvo, X-Microwave и других. Открытые интерфейсы моделей позволяют инженерам быстро создавать пользовательские радиочастотные модели на основе технических описаний, измерений или данных электромагнитного моделирования и моделирования схем с использованием:

- S-параметров;
- X-параметров;
- Sys-параметров;
- наборов данных MDIF;
- радиочастотных моделей на основе уравнений.

Библиотека радиочастотного проектирования бесшовно интегрируется с анализом фазированных антенных решёток, RFPro, ADS, электромагнитными инструментами и измерительными приборами Keysight, обеспечивая единые процессы цифровых двойников радиочастотных систем от исследования архитектуры до аппаратной валидации. В сочетании с технологиями Spectrasys II и WhatIF SystemVue обеспечивает масштабируемое, быстрое и высокоточное моделирование радиочастотных систем для современных беспроводных приложений, приложений NTN, радиолокации, радиоэлектронной борьбы, спутниковой связи и аэрокосмической и оборонной отраслей.

Библиотека проектирования алгоритмов (Algorithm Design Library)

Библиотека проектирования алгоритмов (Algorithm Design Library) в SystemVue предоставляет комплексную среду для моделирования систем связи, ЦОС и обработки сигналов в смешанных предметных областях. Построенная на механизме моделирования Data Flow, библиотека обеспечивает эффективное моделирование, анализ и оптимизацию современных беспроводных, спутниковых, радиолокационных систем, систем с фазированными антенными решётками и систем связи аэрокосмической и оборонной отраслей с помощью масштабируемых процессов моделирования во временной области.

Библиотека включает обширный набор функциональных блоков для:

- связи и обработки физического уровня;
- цифровой обработки сигналов (DSP);
- математических и матричных операций;
- аналоговых и радиочастотных поведенческих функций;
- адаптивной фильтрации и эквалайзинга;
- канального кодирования и декодирования;
- тактовой и временной синхронизации (timing and synchronization);
- обработки MIMO и формирования диаграммы направленности;
- обработки сигналов с поддержкой AI/ML;
- источников, приёмников данных, визуализации и анализа измерений.

SystemVue поддерживает реалистичное сквозное моделирование систем связи, объединяя в единой среде обработку в основной полосе частот, радиочастотные искажения, фазированные антенные решётки, каналы распространения и поведенческие модели с учётом особенностей аппаратуры. Инженеры могут быстро создавать прототипы, валидировать и оптимизировать сложные архитектуры систем связи, оценивая KPI на уровне системы, такие как EVM, коэффициент битовых ошибок (Bit Error Rate, BER), пропускная способность, задержка, SINR, спектральная эффективность и производительность при сосуществовании.

Возможности цифрового модема (Digital Modem) поддерживают широкий спектр приложений для разработки систем связи и сигналов, включая:

- более 40 форматов цифровой модуляции для военной связи (MilCom) и спутниковой связи (SatCom);

- процессы физического уровня 5G NR, LTE, Wi-Fi и NTN на основе стандартов;
- анализ адаптивных сигналов и многонесущих систем;
- моделирование по радиоинтерфейсу (OTA) для систем миллиметрового диапазона и систем с фазированными антенными решётками;
- массивный MIMO и многоантенные архитектуры;
- структуры формирования диаграммы направленности в основной полосе частот, радиочастотные, аналоговые и гибридные;
- алгоритмы связи и приёмников с поддержкой ИИ.

Платформа также поддерживает реалистичное моделирование ошибок синхронизации, радиочастотных искажений, нелинейного поведения аппаратуры, эффекта Доплера, замираний, помех и динамических условий распространения для точной валидации цифровых двойников радиочастотных систем.

Интегрированные компоненты измерительных приборов и анализа измерений обеспечивают бесшовное подключение к векторному анализу сигналов Keysight 89600 (VSA), Signal Studio, WaveJudge, X-Apps и радиочастотным измерительным приборам Keysight. Эти процессы от проектирования к испытаниям позволяют инженерам формировать реалистичные сигналы, сопоставлять результаты моделирования с измеренной производительностью аппаратуры и валидировать системы связи с использованием единой методологии измерений в средах моделирования и лабораторных средах.

SystemVue дополнительно ускоряет передовые исследования в области связи благодаря поддержке интеграции AI/ML, процессов автоматизации на Python и инференса (inference) нейронных сетей на основе ONNX/TensorFlow непосредственно в моделированиях систем связи. Инженеры могут формировать радиочастотные наборы данных для обучения, оценивать приёмники, улучшенные с помощью ИИ, и сравнивать алгоритмы на основе ИИ с традиционными методами ЦОС в реалистичных беспроводных средах.

Сочетая масштабируемое моделирование ЦОС, процессы связи на основе стандартов, реалистичные радиочастотные искажения, интеграцию фазированных антенных решёток и валидацию с учётом особенностей аппаратуры, SystemVue позволяет инженерам быстро разрабатывать и валидировать беспроводные системы и системы связи следующего поколения с большей уверенностью и сниженным риском разработки.

Тел.: +7 (495) 252-00-96
Email: info-site@akmetron.ru
Адрес: Москва, ул. Рабочая, д.93 стр.2, под. 2.

Модели AMI (AMI Models)

Комплект моделирования AMI W4511E (W4511E AMI Modeling Kit) в SystemVue упрощает разработку, валидацию и развёртывание переносимых моделей IBIS-AMI для высокоскоростных цифровых систем (High-Speed Digital, HSD) и приложений сериализатора/десериализатора (Serializer/Deserializer, SerDes). Комплект позволяет инженерам эффективно создавать модели AMI, соответствующие стандартам, для современных архитектур последовательных линий, ускоряя анализ целостности сигналов (signal integrity) и процессы валидации на уровне системы.

Сочетая моделирование на основе ЦОС с исполняемыми поведенческими архитектурами, SystemVue позволяет инженерам быстро создавать прототипы алгоритмов эквализации, методов компенсации канала, архитектур восстановления тактовой частоты, адаптивных блоков ЦОС и функций обработки высокоскоростных линий в реалистичных системных средах. Комплект моделирования AMI поддерживает формирование результатов IBIS-AMI без лицензионных отчислений (royalty-free) для распространения между проектными командами, заказчиками и партнёрами по экосистеме.

Ключевые возможности:

- быстрое создание моделей IBIS-AMI, соответствующих стандартам;
- разработка исполняемых архитектур ЦОС и SerDes;
- поддержка эквалайзинга Tx/Rx и адаптивных алгоритмов ЦОС;
- эффективная валидация высокоскоростных последовательных линий и каналов;
- формирование результатов моделей AMI без лицензионных отчислений;
- упрощённая интероперабельность (interoperability) в экосистемах EDA.

Платформа также включает комплект генерации кода C++ (C++ Code Generation Kit), позволяющий инженерам автоматически формировать оптимизированные реализации на C++ из архитектур ЦОС SystemVue и алгоритмических процессов. Более 100 настраиваемых блоков обработки сигналов можно использовать для создания переносимых высокопроизводительных моделей ЦОС для интеграции во внешние программные среды, встраиваемые системы и пользовательские коммуникационные платформы.

Возможности проектирования алгоритмов поддерживают разработку:

- адаптивных эквалайзеров;
- восстановления тактовой частоты и временной синхронизации;
- оценки и компенсации канала;

Тел.: +7 (495) 252-00-96
Email: info-site@akmetron.ru
Адрес: Москва, ул. Рабочая, д.93 стр.2, под. 2.

- фильтрации и синхронизации на основе ЦОС;
- многоскоростной обработки сигналов;
- процессов ЦОС с поддержкой ИИ;
- пользовательских алгоритмов связи и SerDes.

Сочетая масштабируемое моделирование ЦОС, исполняемые спецификации, автоматическое формирование кода C++ и процессы моделирования AMI, соответствующие стандартам, SystemVue ускоряет разработку высокоскоростных цифровых систем, снижая риски интеграции и улучшая интероперабельность в современных высокоскоростных коммуникационных экосистемах.

Информация для заказа и лицензирование (Ordering Information and Licensing)

Для команд, выполняющих высокочастотное радиочастотное проектирование и моделирование, SystemVue лицензируется в виде двухкомпонентных комплектов, включающих лицензию на базовое ядро проектирования (design core) и лицензию на средство моделирования (simulator). В корпоративных установках лицензирование можно оптимизировать в зависимости от числа доступов к ядру и конкретных потребностей в возможностях моделирования для участников команды.

Модель (Model)	**Наименование (Name)**	**Описание (Description)**
W4800B	SystemVue Core	Ввод принципиальных схем, построение графиков данных и поддержка кода MATLAB
W4801B	SystemVue Core + RF	Добавляет элементы моделирования радиочастотного анализа с Spectrasys, WhatIF, линейным моделированием и библиотеками моделей радиочастотных компонентов
W4802B	SystemVue Core +Comms/DSP	Добавляет моделирование потоков данных с учётом времени (timed dataflow) с библиотеками элементов ЦОС, цифровой модуляции, SerDes, MIMO и устаревших спецификаций сотовой связи

Модель (Model)	Наименование (Name)	Описание (Description)
W4803B	SystemVue Core +Comms/DSP	Позволяет с помощью RF Link соединять анализ потоков данных с учётом времени (timed dataflow analysis) с точными высокодостоверными (high-fidelity) моделями радиочастотных систем
W4804B	SystemVue Core + RF +Comms/DSP + Phased Array	Добавляет расширенное моделирование фазированных антенных решёток как для радиочастотных приложений, так и для приложений Comms/DSP с использованием формирования диаграммы направленности
W4811B	SystemVue + Aerospace Defense	Добавляет все инструменты, необходимые для проектирования радиочастотных систем и систем основной полосы частот для радиолокации
W4812B	SystemVue + 5G & Cellular	Добавляет все инструменты, необходимые для проектирования радиочастотных систем и систем основной полосы частот для 5G
W4813B	SystemVue + Automotive	Добавляет все инструменты, необходимые для проектирования радиочастотных систем и систем основной полосы частот для автомобильной радиолокации
W4814B	SystemVue + Wi-Fi & Connectivity	Добавляет все инструменты, необходимые для проектирования радиочастотных систем и систем основной полосы частот для Wi-Fi и средств подключения

Тел.: +7 (495) 252-00-96
Email: info-site@akmetron.ru
Адрес: Москва, ул. Рабочая, д.93 стр.2, под. 2.

Модель (Model)	Наименование (Name)	Описание (Description)
W4815B	SystemVue + Satellite	Добавляет все инструменты, необходимые для проектирования радиочастотных систем и систем основной полосы частот для спутниковой связи
W4816B	SystemVue + 5G + NTN Channel	Подключаемый модуль (plug-in) приложений System Design 5G для EXata Network Emulation and Modeling
W4857B	SystemVue + Signal Studio + VSA + DVBS2 / S2X Application Bundle	Сквозное решение для проектирования систем DVB-S2/S2X (end-to-end), объединяющее программное обеспечение Signal Studio и VSA

Для команд, выполняющих проектирование алгоритмов в MATLAB, механизмы моделирования SystemVue интегрируются с MATLAB и Simulink, позволяя разработчикам алгоритмов вызывать рабочие пространства и библиотеки SystemVue непосредственно из среды MATLAB.

Модель (Model)	Наименование (Name)	Описание (Description)
W4806B	SystemVue Algorithm Core	Ввод принципиальных схем RF и Comms/DSP, построение графиков данных и поддержка кода MATLAB

SystemVue доступен по подписке на срок 6, 12, 24 или 36 месяцев.

Тел.: +7 (495) 252-00-96
Email: info-site@akmetron.ru
Адрес: Москва, ул. Рабочая, д.93 стр.2, под. 2.