

Гарантированное выполнение КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ

С KEYSIGHT TECHNOLOGIES



Обзор

Каждый этап создания новых спутников имеет решающее значение – от проектирования и моделирования до проверки, производства и развертывания спутниковой системы. Компания Keysight поможет вам ускорить проектирование, тестирование и производство при поддержании высокого качества обслуживания и низкого уровня риска. Начиная с систем управления полетом и питания до элементов полезной нагрузки космического аппарата и обеспечения СВЧ связи, наши средства проектирования и проверки неизменно обеспечивают уверенность в том, что разрабатываемый спутник и его подсистемы начнут работать с первого раза. Компания Keysight использует свой опыт и знания, а также наработки Hewlett-Packard и Agilent для производства оборудования мирового класса, программного обеспечения и пользовательских измерительных решений для космической отрасли. Мы продолжаем опираться на опыт новаторства в области аэрокосмических технологий, накопленный корпорацией Hewlett-Packard, который начался с программы Аполлон, и теперь позволяет нам эффективно внедрять инновации в современную, быстро развивающуюся и динамичную концепцию NewSpace. Keysight – это не только производитель измерительных приборов. Это проверенный разработчик инновационного аппаратного и программного обеспечения с глобальной сетью опытных специалистов, ориентированный на обеспечение успешных космических миссий. [keysight.com/find/satellite](https://www.keysight.com/find/satellite)



Содержание

Космическая отрасль испытывает серьезные потрясения, которые не наблюдались с начала космической гонки; но при этом многие компании готовы предлагать различные услуги с использованием космических технологий с учетом новых рисков, увеличения объемов производства и снижения затрат. Давно функционирующие предприятия отрасли стремятся получить максимальную выгоду из открывающихся возможностей. Вне зависимости от того, проверяете ли вы СВЧ-аппаратуру спутника связи с высокой пропускной способностью (HTS) или бортовое оборудование слежения, телеметрических измерений и управления (TT&C), средства разработки и проверки проектов от компании Keysight обеспечивают полную уверенность в том, что спутник и его подсистемы будут безотказно работать в ходе всего полета.



ГЛАВА 1

Проектирование и моделирование

Моделирование обеспечивает успех на всех этапах – от планирования до выполнения миссий 5

Высокоточное моделирование на системном уровне с помощью PathWave System Design 7



Моделирование обеспечивает успех на всех этапах – от планирования до выполнения миссий

Космические миссии характеризуются уникальным комплексом проблем, влияющим на бюджет канала. Эти проблемы включают в себя доплеровское смещение, атмосферные искажения, задержки, предельные значения температур, высокие уровни сигналов, вызывающие работу усилителей в нелинейном режиме, а также экстремальные условия открытого космоса. Они не оставляют шанса возобновления работы неисправного космического аппарата. Нужно быть особенно внимательными на каждом этапе проектирования, производства и развертывания, чтобы спутник всегда мог заработать с первого раза. В этих динамичных условиях цифровое моделирование систем спутниковой связи сокращает время проектирования и ускоряет производство при одновременном повышении вероятности успеха миссии и снижении затрат на производство. Интеграция САПР электронных систем PathWave System Design (SystemVue) от Keysight с ПО System Tool Kit (STK) компании AGI позволяет точно моделировать и проверять поведение сигналов в динамичной космической среде.

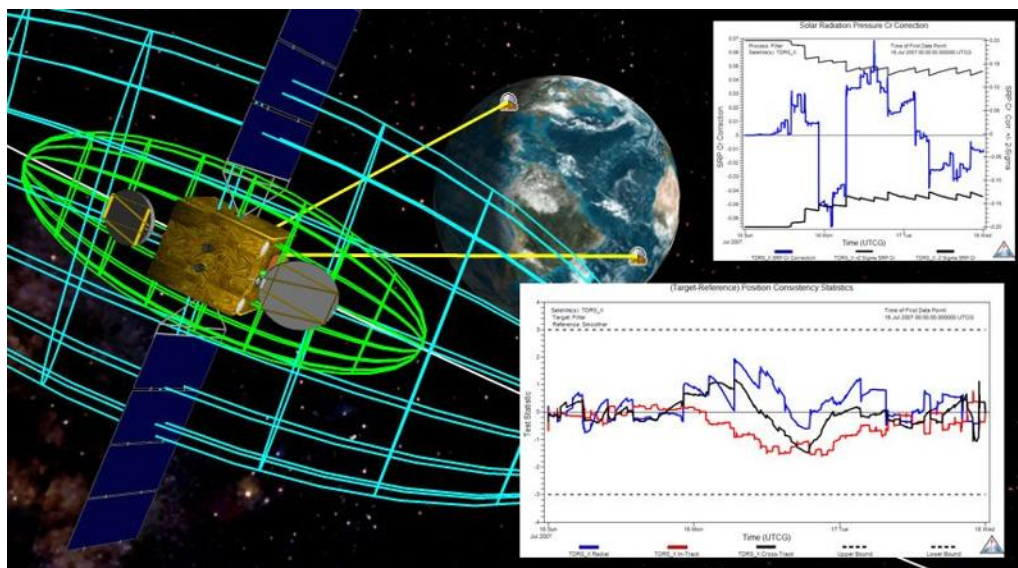


Рисунок 1. Моделирование орбитальных средств связи в процессе проектирования

- PathWave System Design с STK – это интегрированное решение для создания настоящего полнофункционального цифрового двойника, используемого в течение цикла проектирования цифрового оборудования космического назначения.
- В решении используются высокоточные модели высокочастотных искажений и каналов из ПО PathWave System Design, позволяющие пользователю управлять инструментами STK из среды моделирования PathWave System Design.
- Проведение широкого комплекса исследований альтернативных решений по спутниковым подсистемам и полезной нагрузке при проектировании на основе моделей со встроенной имитацией кинематики полета.
- Интегрированная виртуальная платформа PathWave System Design и STK обеспечивает сквозной анализ с использованием реальных источников модулированного сигнала, полностью соответствующих стандартам. Анализ включает в себя всю динамику полета с различными архитектурами приемников.
- Непрерывное совершенствование моделирования путем использования результатов высокоточных измерений Keysight для оптимизации и уточнения системных моделей.

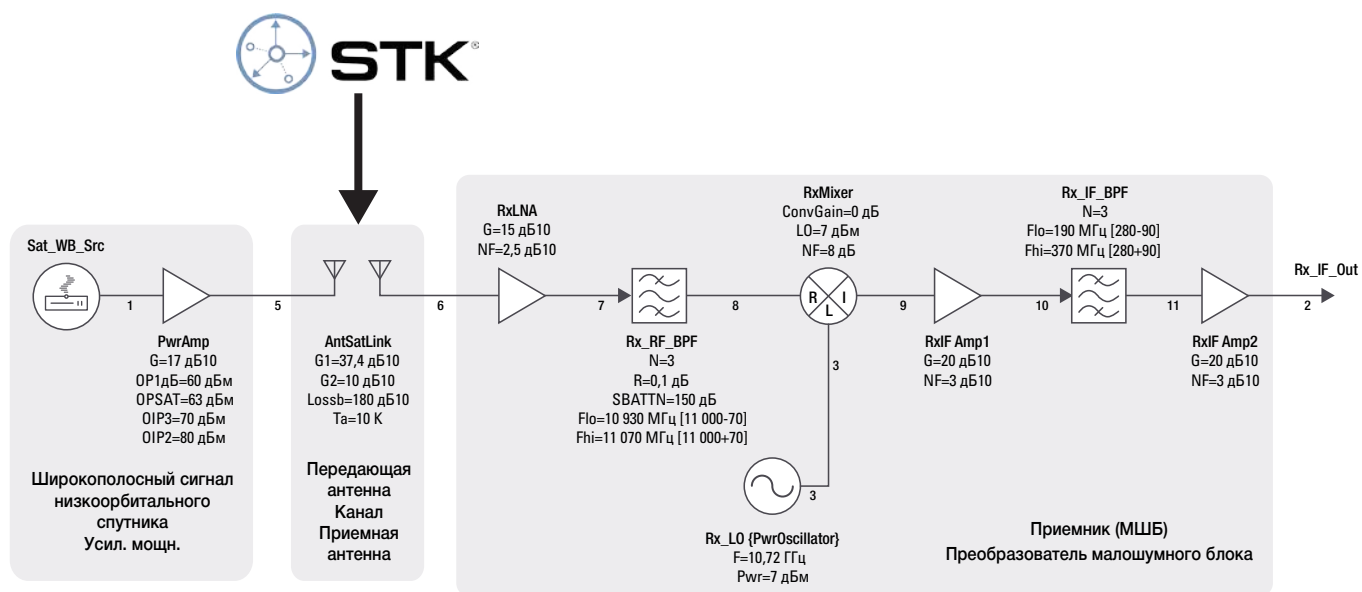


Рисунок 2. Моделирование в PathWave System Design с использованием данных кинематики канала, импортированных из STK

*Примечание. STK является торговой маркой компании Analytical Graphics, Inc. STK от Analytical Graphics, Inc. подпадает под действие экспортных правил ИТАР США. За более подробной информацией обратитесь в ближайшее представительство компании Keysight.

Высокоточное моделирование на системном уровне с помощью PathWave System Design

PathWave System Design – это мультидоменная среда моделирования и проверки для проектирования электронных систем. Она позволяет системотехникам и разработчикам алгоритмов выходить за традиционные границы проектирования трактов высокочастотных и модулирующих сигналов для внедрения инноваций на физическом уровне систем спутниковой связи следующего поколения в аэрокосмической и оборонной отраслях. PathWave System Design упрощает решение этих задач, интегрируя в единую высокопроизводительную среду популярные интерфейсы моделирования и реализации цифровой обработки сигналов (DSP), точные инструменты САПР электронных устройств, библиотеки стандартов и объекты интеллектуальной собственности (IP), а также контрольно-измерительные средства.

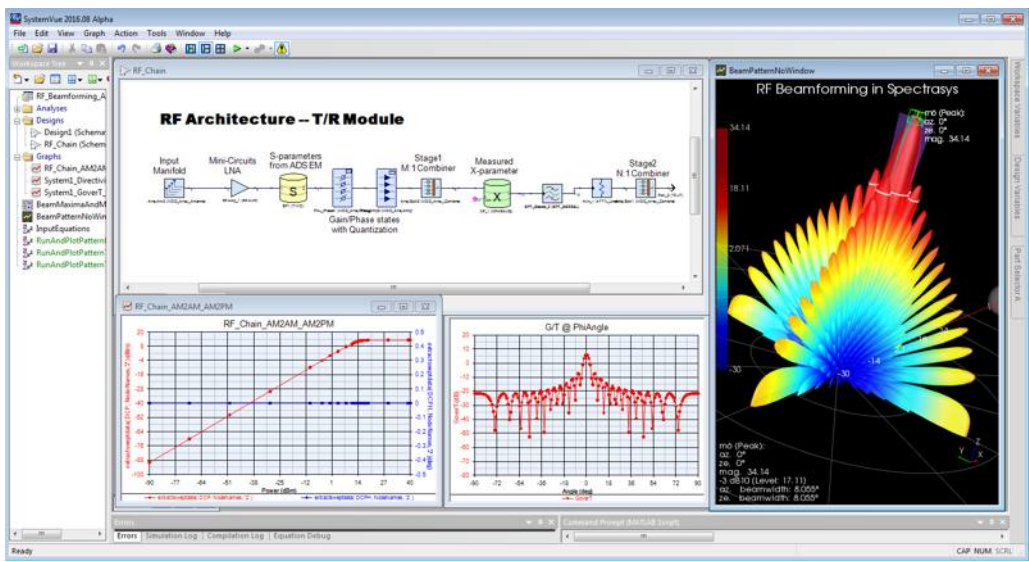
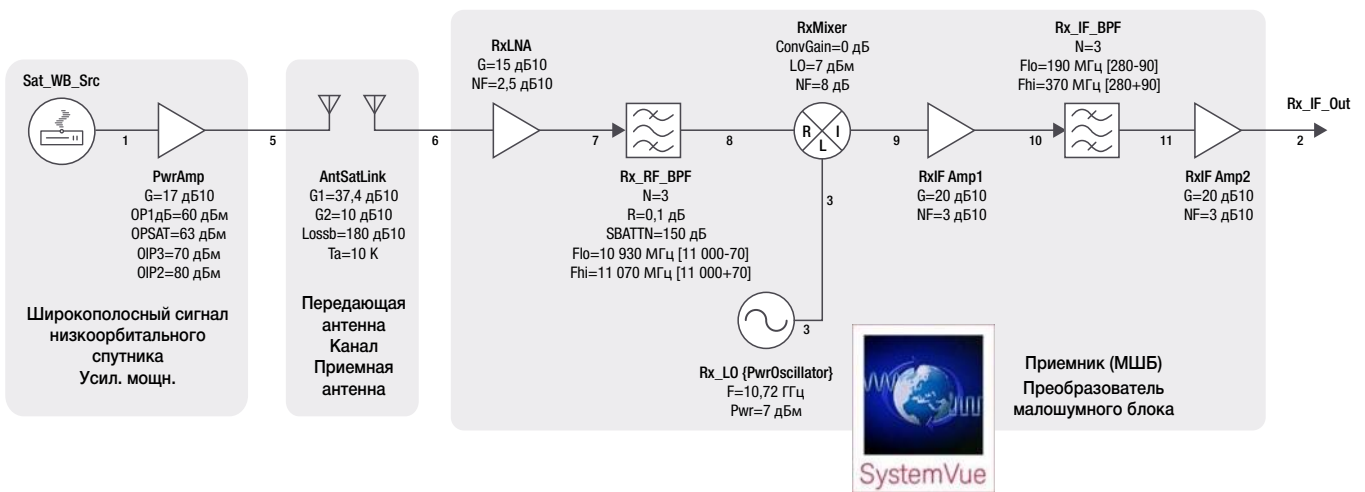
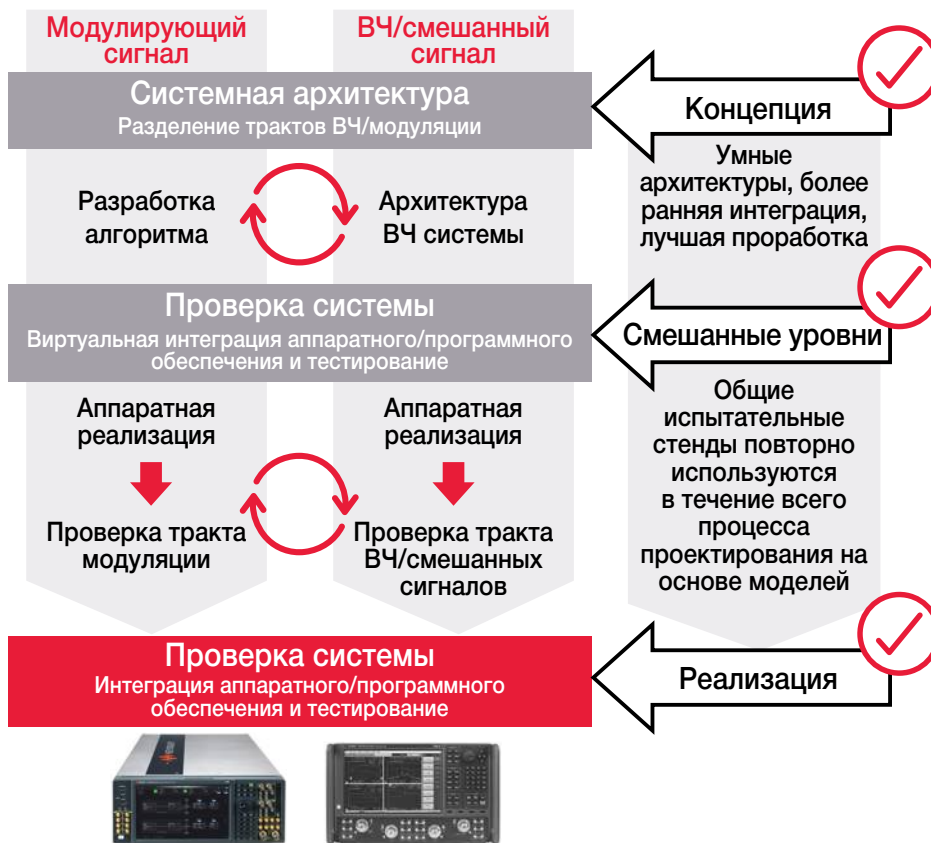


Рисунок 3. Модель фазированной антенной решетки, представленная с помощью PathWave System Design



Процесс проектирования ESL



ПО PathWave System Design Core W4800B является базовой средой, возможности которой можно расширить с помощью поддерживаемых симуляторов и библиотек. Оно располагает множеством возможностей, которые отсутствуют в других САПР средств связи системного уровня или доступны только в качестве опций за дополнительную цену.

- W4501E – анализ коммуникаций и цифровой обработки сигнала
- W4502E – ВЧ анализ
- W4503E – анализ фазированных антенных решеток
- W4514E – связь PathWave с STK
- W4524E – библиотека спутниковой связи



ГЛАВА 2

Оптимизация разрабатываемых схем

Ускорение внедрения инноваций с помощью программно-аппаратно тестирования	10
Анализ специальной модуляции.....	11
Анализ широкополосных сигналов для тестирования спутников	12
Углубленный анализ фазового шума	12
Приложение для измерения модуляционных искажений	14



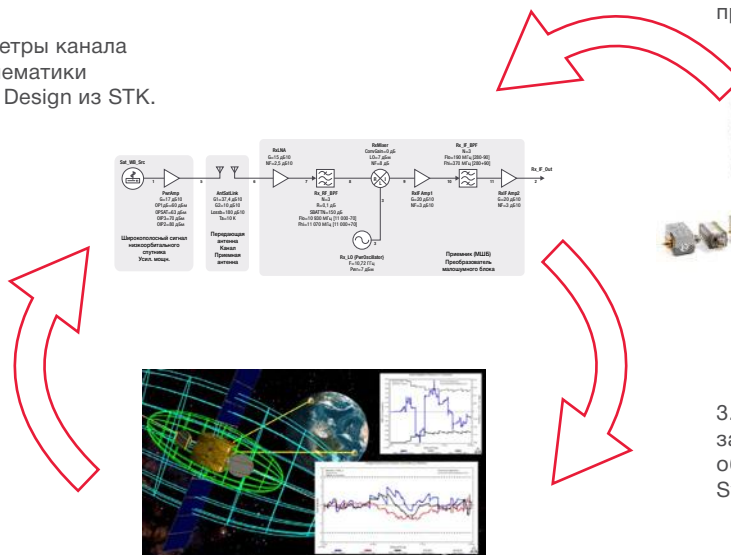
Ускорение внедрения инноваций с помощью программно-аппаратно тестирования

Спутниковые группировки следующего поколения позволят создавать коммуникационные сети с высокой пропускной способностью и малой задержкой. В этих сетях используются более высокие диапазоны частот для увеличения пропускной способности с целью поддержки бесперебойных соединений по всему миру. Keysight поможет вам уменьшить накладные расходы по проекту, быстрее внедрять инновации и снизить проектные риски за счет оптимизации этапа разработки и применения индивидуальных решений по проектированию, моделированию и измерениям. Полная линейка контрольно-измерительного оборудования Keysight позволяет легко перейти от цифровых моделей к аппаратным прототипам в ходе программно-аппаратного тестирования. Воспользуйтесь ПО PathWave System Design для связи с испытательным оборудованием Keysight с целью быстрого получения надежных высокоточных моделей компонентов, систем и антенн спутниковой связи.



Рисунок 4. Анализатор СВЧ цепей N5247B серии PNA-X

1. Загрузите параметры канала связи и данные кинематики в PathWave System Design из STK.



2. Используйте программно-аппаратное тестирование для измерения характеристик компонентов системы и ускорения процесса проектирования.

3. Оптимизируйте проект системы, загрузив модели коммуникационного оборудования и антенн из PathWave System Design в STK.

Рисунок 5. Ускоренный цикл проектирования с помощью ПО PathWave System Design

Анализ пользовательской модуляции

Новые и специальные форматы модуляции в аэрокосмической/ оборонной отраслях и спутниковой связи используют сигналы уникальной геометрической и даже асимметричной формы. Каждый новый передатчик должен быть тщательно протестирован с измерением таких параметров, как качество модуляции, коэффициент усиления и равномерность АЧХ. Разработка и поддержка алгоритмов синхронизации, обеспечения качества сигнала и совместной работы аппаратных средств может занимать много времени, особенно в тех случаях, когда испытательное оборудование или форматы сигнальных созвездий могут изменяться между различными миссиями.

Функция анализа «Custom IQ» в ПО 89600 VSA может помочь вам точно разрабатывать и проверять проприетарные сигналы.

- Демодулируйте сигнальные созвездия произвольной формы с помощью редактора созвездий.
- Проверьте свой передатчик, используя ПО VSA в качестве эталонного приемника для вычисления модуля вектора ошибки (EVM), погрешности частоты и т. д.
- Оцените демодулированные биты с помощью связанных маркеров в области IQ, временной области и символевой информации.
- Отделите влияние нелинейных шумов и искажений от нарушений линейности с помощью адаптивного эквалайзера каналов.

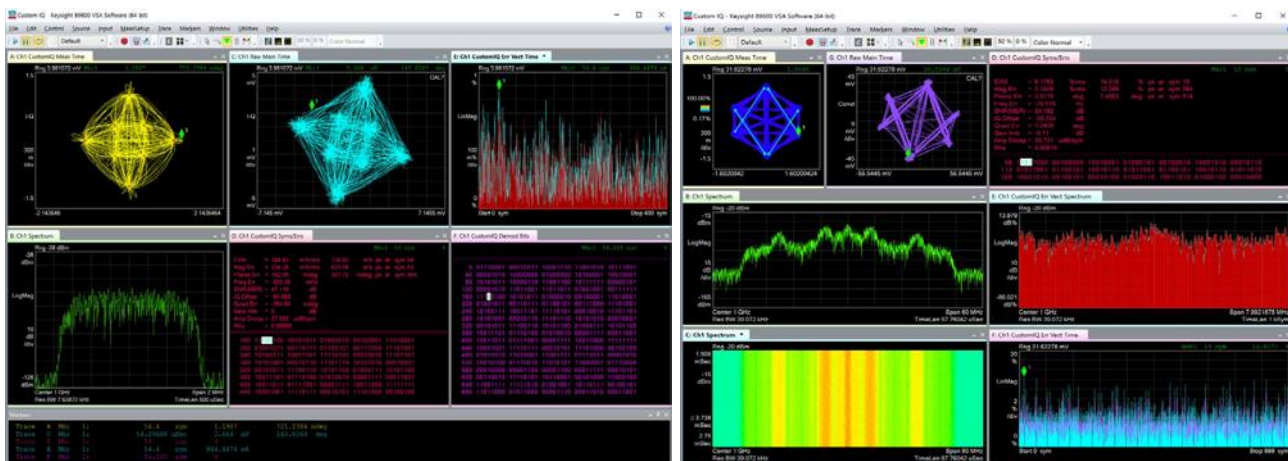


Рисунок 6. Анализ пользовательской модуляции IQ с помощью ПО VSA

Анализ широкополосных сигналов для тестирования спутников

Широкополосные системы связи диапазонов Ka, V и W с высокой пропускной способностью обеспечивают высокие скорости передачи данных. Измеряя характеристики усилителей, предназначенных для этих задач, можно столкнуться с уникальными проблемами. Результаты измерений таких параметров, как EVM, отношение сигнал-шум, компрессия усиления и фазовые искажения, могут хорошо характеризовать компонент при его работе в системе. Оценка этих результатов во всем диапазоне мощности и температур поможет глубже разобраться с работой усилителя в различных условиях. Это доступное по цене решение обеспечивает широкополосный анализ сигналов с широким динамическим диапазоном.

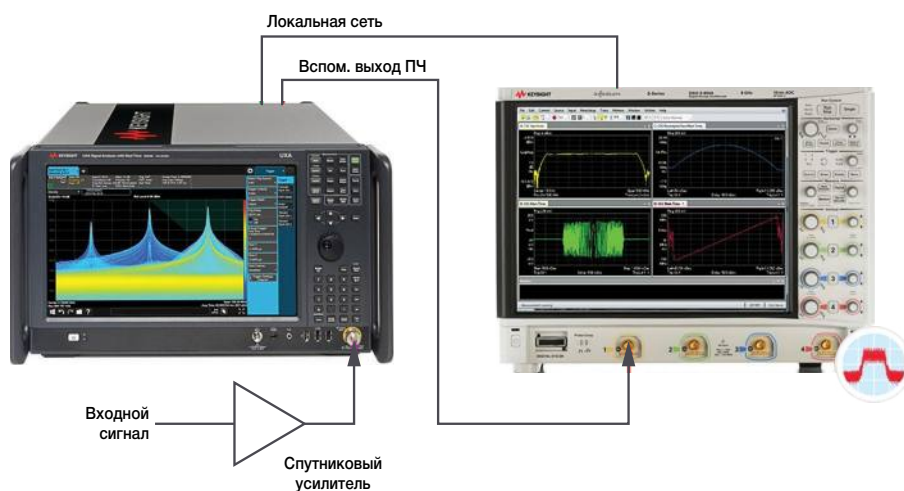


Рисунок 7. Тестирование с анализом широкополосных сигналов

- Экспортируйте данные коррекции из анализатора в ПО VSA.
- Быстро загрузите данные коррекции с изменениями центральной частоты и полосы.
- Коррекция амплитуды и фазы обеспечивает точный анализ специальных типов модуляции.



Рисунок 8. Осциллограф Infiniium серии UXR

Углубленный анализ фазового шума

Транспондеры спутниковой связи, как прямой ретрансляции, так и цифровые регенеративные, должны вносить минимальные шумы в принятый сигнал. Каскад преобразования частоты спутникового трансивера передает фазовый шум гетеродина в выходные сигналы смесителя, что приводит к ухудшению отношения сигнал-шум и увеличению коэффициента битовых ошибок (BER). Поэтому результаты измерений фазового шума имеют большое значение при приеме слабых сигналов. Система тестирования фазового шума Keysight N5511A может значительно сократить время измерения абсолютного и остаточного фазового шума.

- Лучшие в своем классе измерения абсолютного и остаточного фазового шума
 - Измерения вплоть до уровня собственных тепловых шумов (кТ):
-177 дБм/Гц
 - Чрезвычайная быстрота и гибкость для самых сложных измерений
 - Многосегментная перекрёстная аппаратная корреляция в ПЛИС
- Полная совместимость по коду с решением для измерения фазового шума Keysight E5505A



Рисунок 9. Система тестирования фазового шума Keysight N5511A, от 50 кГц до 40 ГГц

Приложение для измерения модуляционных искажений

В системах спутниковой связи усилители мощности и малошумящие усилители являются критически важными звеньями сигнального тракта, обеспечивающими необходимую мощность для антенн. Усилители мощности, такие как усилители на лампах бегущей волны и полупроводниковые усилители мощности, часто работают на вблизи насыщения, чтобы обеспечить максимальный КПД, что особенно важно для спутника на орбите. Работа с такими уровнями мощности опасна тем, что любая нелинейность может исказить модулированный сигнал так, что его невозможно будет демодулировать. Таким образом, нелинейные характеристики усилителя мощности напрямую влияют на BER при демодуляции. Помимо высокого BER в вашем канале, прирост спектра, вызванный нелинейностями, может вызвать нежелательную мощность в соседних каналах, что делает невозможным агрегирование несущих. Таким образом, анализ нелинейности ВЧ тракта имеет огромное значение для обеспечения качественной спутниковой связи.



Источник модулирующего сигнала:



VXG

или



M9383A/B

или



PSG + M819X AWG

или



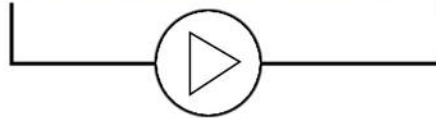
MXG

или



N5192/4A UXG

ПО искажения модуляции на анализаторе цепей PNA-X



Приложение для измерения модуляционных искажений Keysight S93070xB для векторного анализатора цепей PNA-X и векторного генератора сигналов, такого как Keysight VXG, позволяет измерять нелинейные характеристики усилителя мощности с различными испытательными сигналами с широкополосной модуляцией. Помимо выполняемых анализатором PNA-X измерений S-параметров, компрессии усиления, интермодуляционных искажений и коэффициента шума, он позволяет измерять нелинейные искажения с коррекцией ошибок при подаче испытательного сигнала без какого-либо изменения подключения прибора. В результате можно обеспечить превосходную точность сигнала и точные измерения модуляции в диапазонах ВЧ и СВЧ.



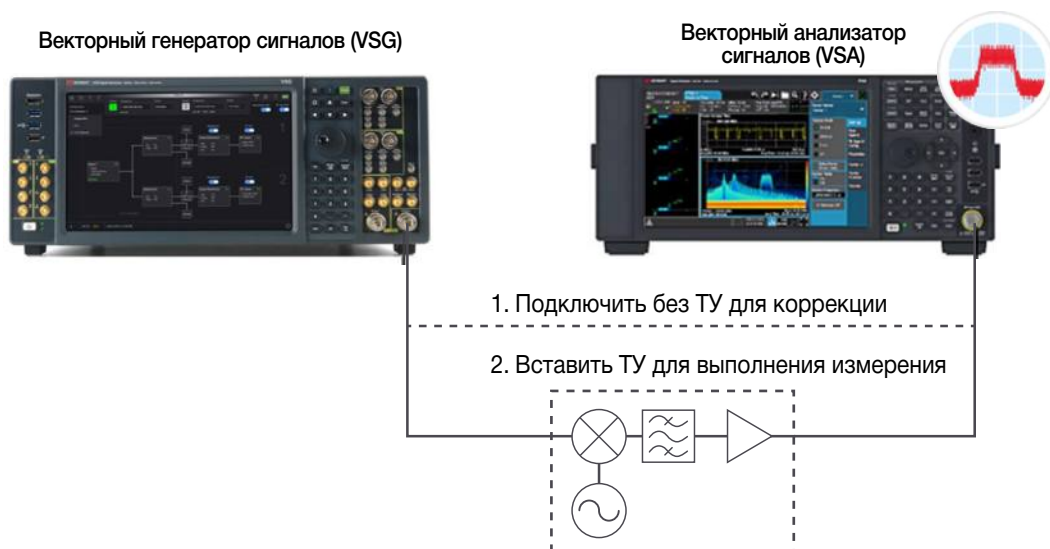
ГЛАВА 3

Системная интеграция и эмуляция

Тестирование системы связи в целом	17
Тестирование функциональных характеристик системы спутниковой связи до запуска	20

Тестирование системы связи в целом

Тестирование оборудования космических аппаратов для геостационарных систем спутниковой связи с высокой пропускной способностью и группировок коммерческих низкоорбитальных спутников в рамках концепции NewSpace связано с новыми проблемами измерений на уровне системы и компонентов. Использование спутниками более высоких частот и более широких полос требует более сложного тестирования и измерений для обеспечения того, чтобы компоненты и системы отвечали жестким требованиям к занимаемому объему. Для различных сценариев тестирования, необходимых в ходе проектирования, проверки и производства спутниковых компонентов и систем, анализ спектра и генерация сигналов являются основой для построения надежной измерительной системы.



- Результаты каждого измерения являются воспроизводимыми и прослеживаются до национальных метрологических институтов с помощью разработанных инженерами Keysight процедур калибровки, позволяющими проверить опорные сигналы прибора, что дает возможность пользователям изучить истинные характеристики тестируемого устройства (ТУ).
- Компактные генераторы СВЧ сигналов VXG от Keysight имеют диапазон частот от 1 МГц до 44 ГГц, полосу модуляции до 2 ГГц и два когерентных канала для еще более широких полос.
- Добавление функции анализа сигналов в режиме реального времени (RTSA) к анализатору сигналов серии X создает экономичное решение, сочетающее традиционные измерения спектра с возможностью работы в реальном времени.



Рисунок 10. СВЧ генераторы сигналов Keysight VXG M9384B и M9383B

Одна из постоянных проблем для спутниковых операторов заключается в том, что нужно передать больше данных большему числу пользователей на более высоких скоростях в пределах доступной полосы частот. Для решения этой проблемы используют мультиплексирование высокого порядка с ортогональным разделением частот (OFDM) и более сложные форматы модуляции. По мере усложнения модуляции становится всё труднее исследовать форму сигнала во временной или частотной области и устранять проблемы с качеством сигнала. Поэтому измерения качества модуляции являются лучшим способом исследования характеристик сигналов с цифровой модуляцией на системном уровне. С ПО векторного анализа сигнала PathWave (89600 VSA) можно измерить более 75 описанных стандартами сигналов и типов модуляции, включая используемые в спутниковой связи.

Используйте ПО **PathWave Signal Generation** от **Keysight** для формирования сигналов со стандартной или специальной модуляцией:

- N7623C – цифровое видео
- N7621B – многотонное искажение
- N7605C – затухание в режиме реального времени
- N7608C – ПО PathWave Signal Generation Pro (Signal Studio Pro) для специальной модуляции, включая DVB-S2X

Затем оцените нестандартные или проприетарные сигналы OFDM и APSK с помощью ПО Keysight PathWave VSA (89600).

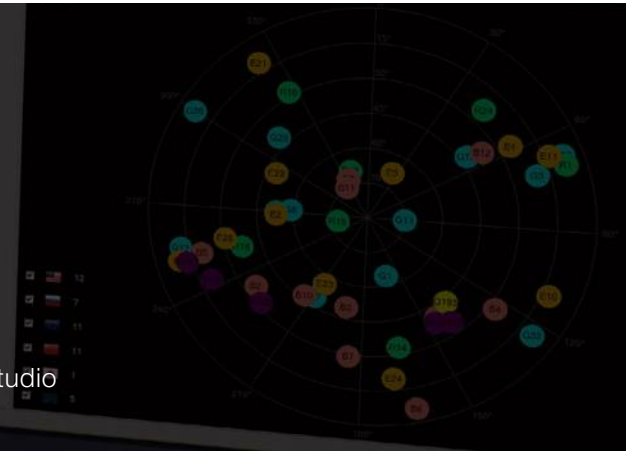




Рисунок 11. Программное обеспечение Keysight PathWave Signal Generation Pro для формирования сигналов

Продукция компании Keysight позволяет формировать и анализировать видеосигналы, широко используемые в системах прямого спутникового вещания. К ним относятся видеосигналы форматов DVB-S/S2/S2X, стандартные или специализированные сигналы систем связи, такие как пользовательский IQ, OFDM и 5G с частотами от 0 Гц до V-диапазона и выше. Эти инструменты необходимы при проведении испытаний спутниковых систем связи в целом. Эта продукция также позволяет отлаживать любые сигналы – от данных, поступающих от датчиков по шине CAN до передовой технологии передачи дифференциальных низковольтных сигналов (LVDS), сигналов SpaceWire/SpaceFibre со спутников с цифровым каналообразованием или регенеративных спутников.

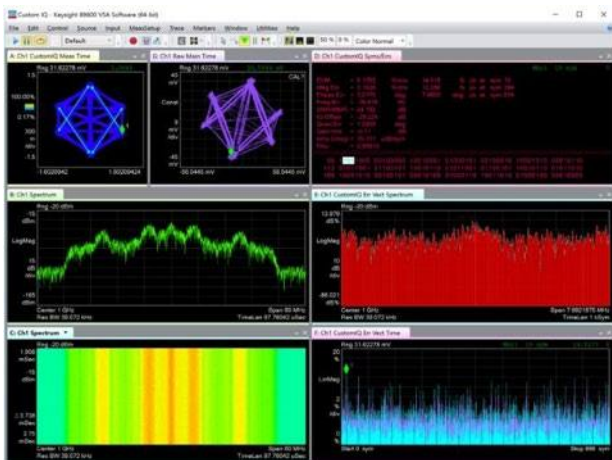


Рисунок 12. ПО анализа специальной модуляции IQ PathWave VSA (89600) от Keysight

Тестирование функциональных характеристик системы спутниковой связи до запуска

Радиооборудование спутниковых, аэрокосмических и авиационных систем должно отвечать строгим требованиям надежности. Отказ в этих линиях связи может привести к потере жизненно важных данных. Условия тестирования должны предельно точно имитировать среду, в которой работают эти радиостанции – не только на уровне канала связи, но и на уровне многоканальной сети.

Решение для эмуляции каналов PROPSIM от Keysight позволяет создать в лаборатории реалистичные условия тестирования современных и будущих систем спутниковой и аэрокосмической связи. Возможности создания динамических сценариев и моделирования всей сети спутниковой группировки превращают его в стандартный инструмент тестирования связанного оборудования орбитальных космических аппаратов.



Преимущества решения

- Быстрое и воспроизводимое тестирование спутниковых радиосистем в лаборатории
- Расширенный инструментарий тестирования для оптимизации сетевого протокола и характеристик приемника
- Поддержка всех беспроводных приложений, включая аэрокосмические, спутниковые и не наземные сети NR 5G
- Эмуляция в лаборатории экстремальных условий распространения для ВЧ канала:
 - Эффект Допплера с большой задержкой
 - Скользящая задержка
 - Многолучевое распространение
 - Потери в радиоканале и затухание вследствие метеоусловий



Рисунок 13. Эмуляторы спутниковых каналов PROPSIM от Keysight

Использование PROPSIM позволяет выявлять и устранять проблемы на ранних этапах проектирования, сокращая циклы исследований и разработок. Выявляя проблемы на ранней стадии, вы обеспечите уверенность, что перед запуском в космос ваши спутники будут более проработанными, без программных и аппаратных ошибок. Такой подход ускоряет процесс исследований и разработок при значительном сокращении затрат на проектирование и тестирование. Решение для эмуляции каналов PROPSIM от Keysight является наиболее надежным и экономичным решением для сквозного функционального тестирования в лаборатории.



ГЛАВА 4

Тестирование антенн

Измерение характеристик фазированной антенной решетки.....23



Измерение характеристик фазированной антенной решетки

Поскольку фазированные антенные решетки становятся всё более функциональными и сложными, они часто имеют множество антенных портов. Раньше эти порты через ВЧ матричный коммутатор подключались к одноканальному приемнику. Матричный коммутатор вносил потери, что снижало чувствительность измерений. Кроме того, увеличивалось время выполнения измерений из-за необходимости переключения между позициями коммутатора. Для современных многопортовых антенн можно использовать многопортовый приемник, позволяющий выполнять измерения по всем портам одновременно, что значительно сокращает время тестирования и повышает чувствительность. Для этого можно использовать многопортовый векторный анализатор цепей M980xA с 2-50 измерительными портами и диапазоном частот до 20 ГГц. Сконфигурировав анализатор, вы можете выполнять измерения по всем измерительным портам антенны одновременно, по каждому сигналу запуска от системы управления диаграммой направленности антенны. Этот метод измерения многопортовых антенн является предпочтительным, поскольку он значительно повышает пропускную способность и производительность тестирования.

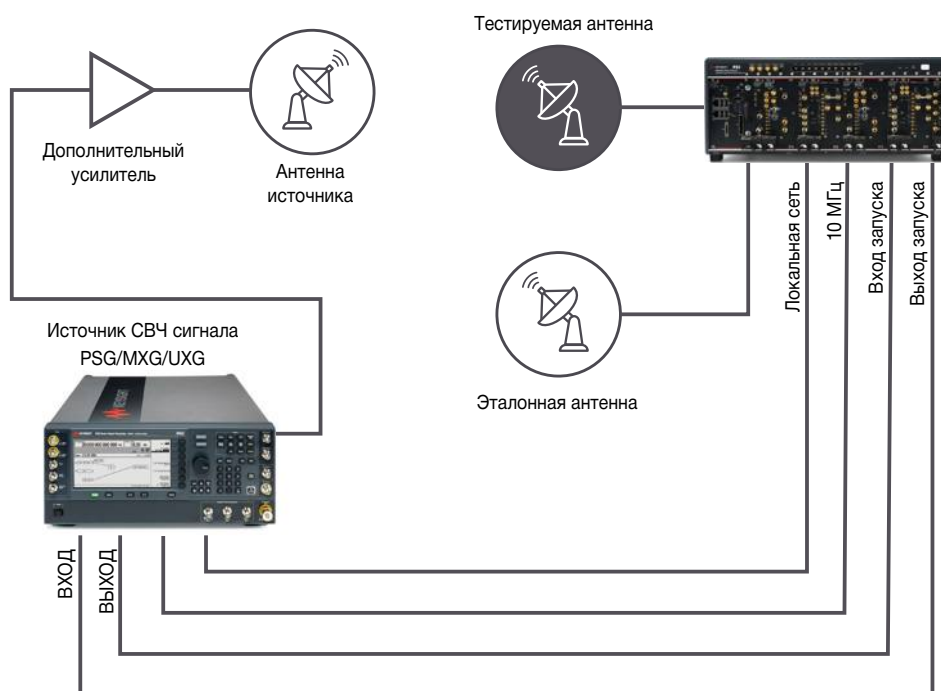


Рисунок 14. Схема тестирования фазированной антенной решетки

Схема с многопортовым векторным анализатором цепей обладает следующими преимуществами над схемой с матричным коммутатором:

- Каждый порт анализатора оснащен измерительным и опорным приёмниками
- Повышение скорости измерений и пропускной способности благодаря меньшему количеству циклов свипирования
- Лучший динамический диапазон
- Лучшая точность и стабильность измерений
- Гибкость и масштабируемость благодаря модульному подходу

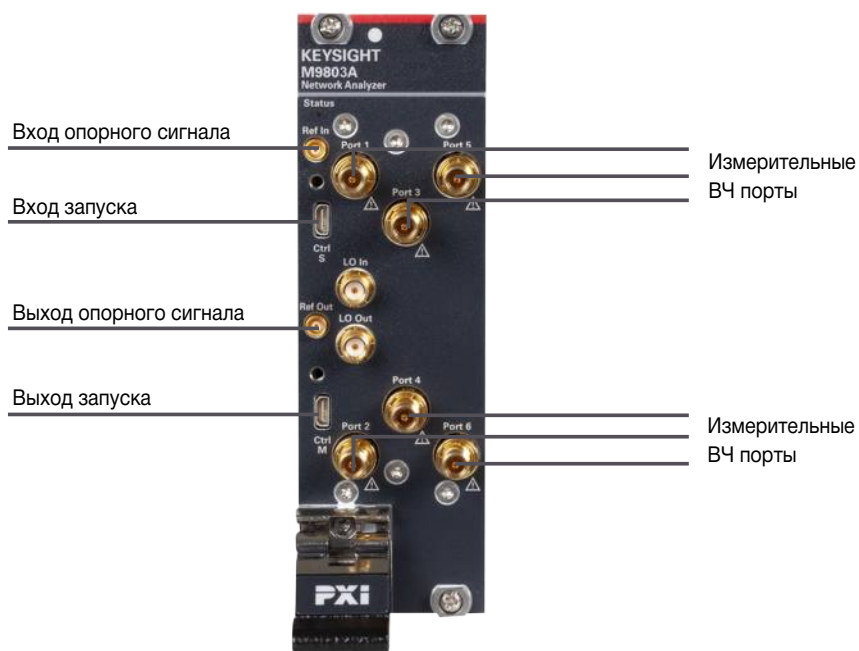


Рисунок 15. Шестипортовый векторный анализатор цепей Keysight M9804A



ГЛАВА 5

Производство

Всё для выпуска надёжной продукции.....	26
Увеличение темпов производства.....	27
Тестирование системы питания спутника.....	29
Специальные решения для тестирования спутников	30



Всё для выпуска надежной продукции

После запуска спутника физический ремонт его аппаратуры на орбите становится очень дорогим и сложным, практически невозможным. Поэтому очень важно поддерживать высочайший уровень качества на протяжении всего производственного процесса, особенно при увеличении объемов производства. Приверженность Keysight к обеспечению высокого качества поможет вам уменьшить производственные затраты при одновременном повышении шансов на успешное выполнение миссии. Компания Keysight обеспечивает уверенность в результатах измерений с помощью надежных специализированных решений, которые обеспечивают исключительную скорость тестирования и точность данных.



Рисунок 16. Генератор СВЧ сигналов VXG M9384B, осциллограф Infiniium UXR1102A и анализатор сигналов UXA N9041B

Увеличение темпов производства

PathWave Test – это мощный программный пакет, обеспечивающий разработчикам удобный доступ к испытательным станциям. Масштабируемый от одного пользователя до крупного предприятия, PathWave Test ускоряет процесс тестирования, предоставляя проектировщикам возможность сотрудничества и управления тестированием через веб-браузер.

PATHWAVE

В традиционном процессе разработки изделий отсутствует должное взаимодействие между проектированием и тестированием, много времени отнимает доработка и переработка, а также используются устаревшие ручные операции. Ускорьте работу с помощью PathWave – платформы для гибких и взаимосвязанных процессов разработки. Проверенное программное обеспечение проектирования и тестирования от Keysight развивается в соответствии с постоянно растущими потребностями вашей организации. Программная платформа PathWave обеспечивает единообразный пользовательский интерфейс, общие форматы данных и интерфейсы управления. Каждый шаг создания продукта соединяется с другими шагами в единое целое.

- С помощью PathWave приборы формата PXI легко интегрируются с другим оборудованием автоматизированного тестирования, что ускоряет выполнение измерений.
- Измерение отношения сигнал-шум на анализаторе PNA-X с приложением для измерения модуляционных искажений значительно сокращает время тестирования.
- Программные средства PathWave, в том числе инструменты для анализа данных, могут оптимизировать время проведения испытаний и отслеживать тенденции в результатах измерений на протяжении всего процесса разработки.



Производители спутников переходят от экспериментального и малосерийного производства к крупносерийному. Переход от выпуска нескольких спутников в месяц к нескольким спутникам в день является специфической проблемой для производителей низкоорбитальных космических аппаратов. По мере роста объемов производства время тестирования и, особенно, длительность измерений, должны соответствовать требованиям сегодняшнего и завтрашнего дня. Опыт и знания Keysight помогут вам оптимизировать производственные процессы и воплотить ваши уникальные требования в высокоэффективное, полностью интегрированное и воспроизводимое индивидуальное контрольно-измерительное решение. Продвигайтесь вперед вместе с мировым лидером в области метрологии и приложений для тестирования.



Рисунок 17. Анализатор питания постоянного тока Keysight N6705C мощностью 600 Вт



Рисунок 18. Четырехканальный осциллограф Infiniium UXR0134A



Тестирование системы питания спутника

Система управления электропитанием спутника имеет важнейшее значение. Она управляет распределением энергии, необходимой для выполнения любой операции во время орбитального полета. Одной из функций системы является зарядка аккумуляторной батареи спутника. В то время как солнечные батареи являются первичным источником энергии, аккумуляторная батарея служит вторичным источником энергии на этапах запуска и нахождения на начальной орбите (LEOP) и теневых участках орбиты, а также в периоды пикового потребления. Систему зарядки следует тщательно проверить, чтобы удостовериться в том, что она может заряжать батарею надлежащим образом. Использование реальной батареи во время тестирования является неудобным и чрезвычайно трудоёмким, так как её придется вручную заряжать и разряжать до нужного начального уровня при каждом испытании. Этот процесс автоматизируется с помощью программируемого источника питания постоянного тока, который может безразрывно переключаться из режима источника в режим нагрузки. Имитируя таким образом батарею спутника, можно с высокой воспроизводимостью и точностью протестировать систему управления питанием.



Рисунок 19. Модульный имитатор солнечных батарей E4360A



Рисунок 20. Рекуперативная система питания RP7900



Специальные решения для тестирования спутников

О пригодности измерительной системы можно судить по тому, насколько хорошо она способна оценить конкретный тестируемый блок. Keysight располагает знаниями, ресурсами и технологиями, необходимыми для того, чтобы обеспечить соответствие системы вашим требованиям. Работая с нашими авторизованными партнерами, мы поможем удовлетворить свои потребности в тестировании с минимальными затратами. С помощью наших индивидуальных решений по тестированию спутников мы поможем вам достичь выдающихся результатов и выполнить ключевые бизнес-задачи. К примерам таких решений относятся:

- Система тестирования шин питания и передачи данных
- Система имитации солнечных батарей (SAS)
- Решение для ВЧ тестирования полезной нагрузки
- Измерительная система для исследования параметров канала передачи данных между космическим аппаратом и наземной станцией
- Платформа автоматизированного тестирования компонентов и подсистем



Система тестирования шин питания и передачи данных

Система тестирования шин питания и передачи данных представляет собой индивидуальное контрольно-измерительное решение. Она состоит аппаратной части, обеспечивающей прием команд и сигналов телеметрии, измерение коэффициента битовых ошибок, соединение с источником питания постоянного тока, хранение данных, а также стандартных интерфейсов RS422 и IEEE 1553 для соединения с узлами спутника и тестирования нужного блока.

- Конфигурирование под конкретные требования
- Возможность подключения источников испытательных сигналов, питания и измерительных приборов для тестирования шины спутника
- Дополнительная возможность измерения коэффициента битовых ошибок
- Защита и мониторинг шины резервного питания
- Коммутация сигналов на осциллограф и регистратор данных
- Поддержка дополнительных спутниковых протоколов, таких как SpaceWire/SpaceFibre



Имитатор солнечных батарей

Специализированный масштабируемый модульный имитатор солнечных батарей Keysight E4360A позволяет точно и эффективно моделировать сложное поведение одного или нескольких фотоэлементов или солнечных батарей. Точное и эффективное моделирование фотоэлементов или солнечных батарей доступно для любых сценариев работы спутника.

- Модульная архитектура для быстрого изменения конфигурации
- Точная имитация солнечной батареи любого типа
- Небольшой размер – высота 2U с двумя выходами
- Высокая выходная мощность – до 600 Вт на каждый выход
- Быстрое изменение ВАХ и малое время обратного переключения
- Исключительно большая средняя наработка на отказ, включая калибровку и техническое обслуживание отдельных модулей

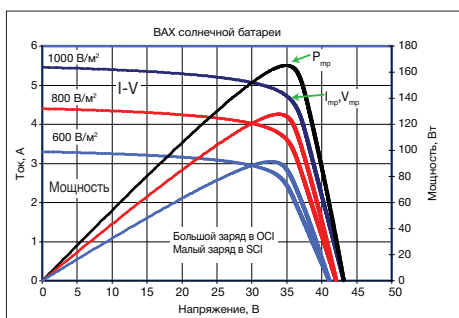


Рисунок 21. Вольт-амперные характеристики для различных уровней солнечной радиации

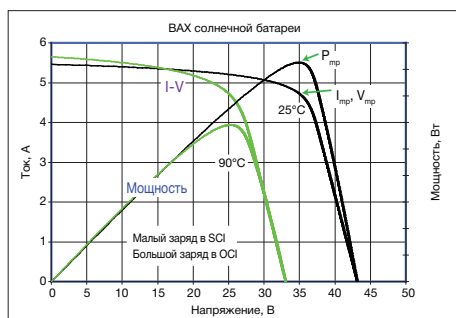


Рисунок 22. Вольт-амперные характеристики для различных значений температуры

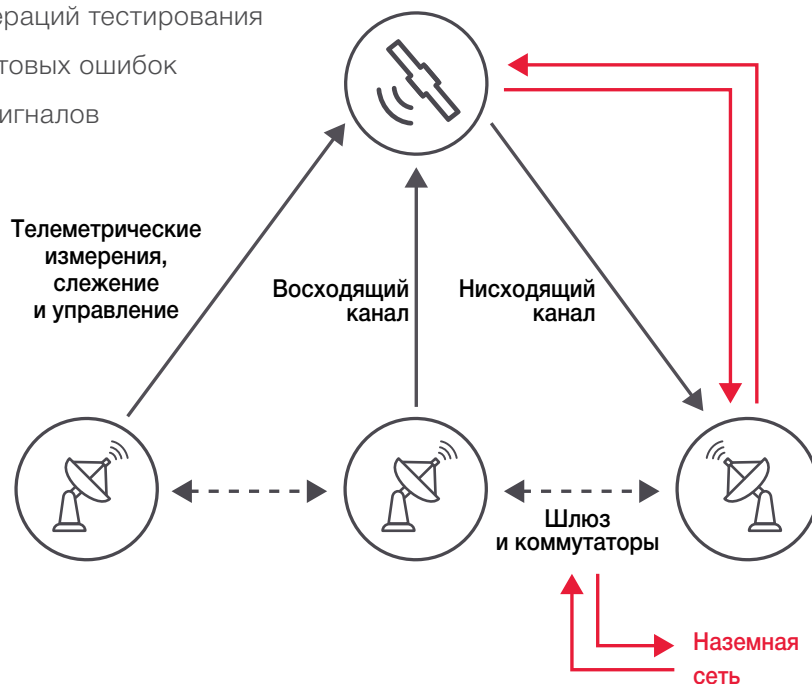
«Работая с Keysight, мы использовали новый подход к производственным испытаниям. Вместо того, чтобы дублировать имеющееся измерительное решение в связи с расширением производства, мы сосредоточились на стоимости владения и смогли снизить расходы и обеспечить защиту от устаревания».

Начальник участка по тестированию субборок, компании-подрядчика в оборонной отрасли.

Системы телеметрии, слежения и управления

Наземные станции получают со спутников телеметрическую информацию об их техническом состоянии и местонахождении. Наземная станция использует эти данные для последующей передачи команд управления на спутник. Спутник использует эти команды для перенастройки подсистем, полезной нагрузки или изменения своего положения на орбите. Эта линия связи с наземной станцией имеет жизненно важное значение для обеспечения надлежащего развертывания и обслуживания спутников и особенно спутниковых группировок. Измерительная система для исследования параметров канала передачи данных между космическим аппаратом и наземной станцией (SGLS) осуществляет обработку команд и телеметрических сигналов между управляющим компьютером спутника и тестируемым блоком. Измерительная система также обеспечивает коммутацию сигналов и подключение измерительного оборудования для проверки целостности сигнала и характеристик исследуемой системы. Оборудование для преобразования сигналов имитирует аппаратуру наземной станции спутниковой связи для управления и контроля состояния тестируемого блока. Гибкая платформа SGLS позволяет изменять конфигурацию в соответствии с требованиями клиента.

- Модуляция сигналов полезных данных, синхронизации и управления
- Использование модуляции стандартного или специального типа и преобразование с повышением частоты
- Автоматическая маршрутизация сигналов через ВЧ и цифровые коммутаторы на соответствующие входы и выходы для выполнения операций тестирования
- Измерение коэффициента битовых ошибок
- Необходимая обработка ВЧ сигналов телеметрии и управления





ГЛАВА 6

Испытания на воздействие окружающей среды

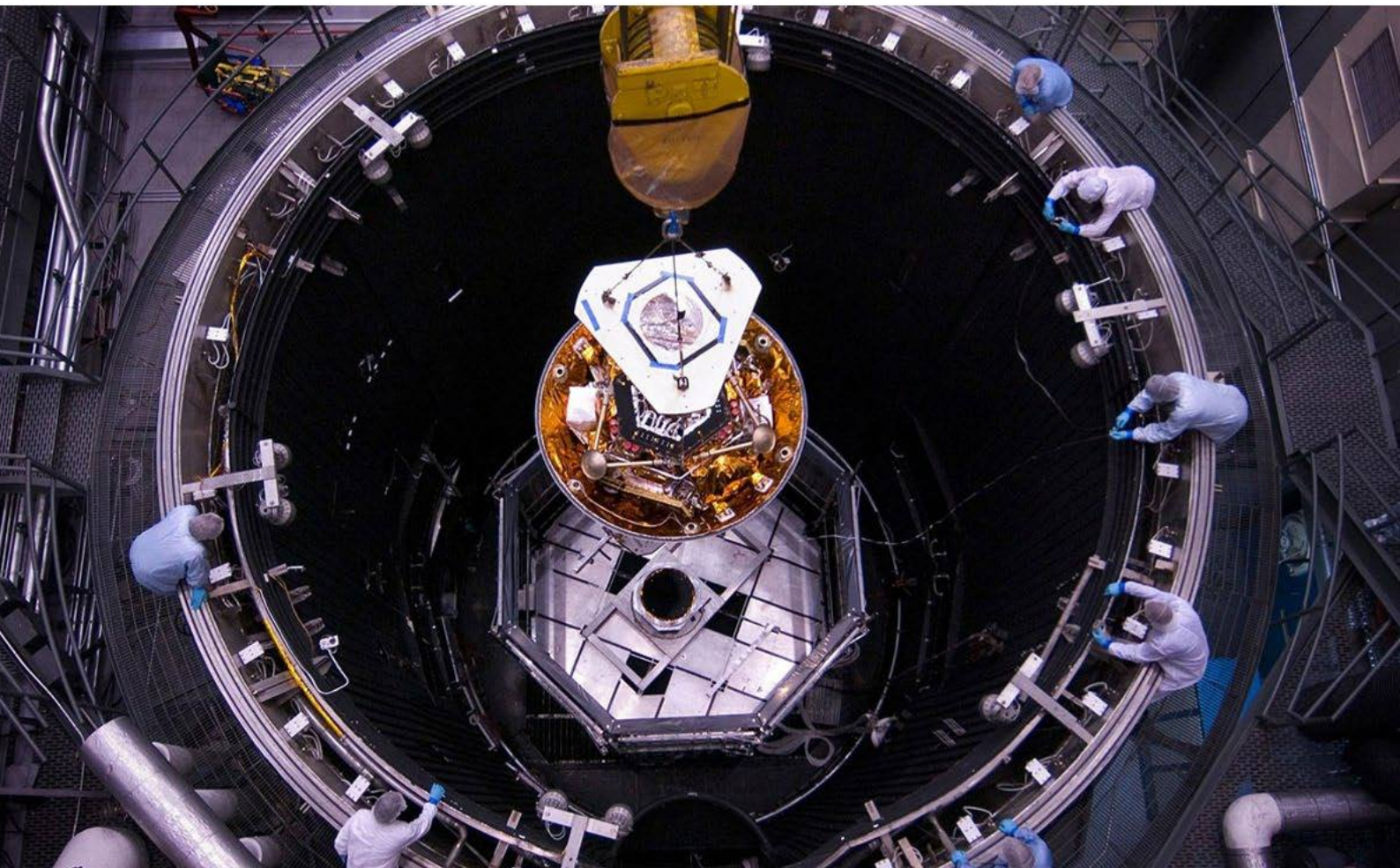
Тестирование в термовакуумной камере	34
Минимизация рисков и достижение максимальной производительности	35
Тестирование спутников, а не ВЧ кабелей	36
Сверхточное измерение параметров электропитания спутников.....	37



Тестирование в термовакуумной камере

Оборудование, используемое в космической технике, проходит строгие испытания на воздействие окружающей среды, чтобы доказать, что оно может выдержать экстремальные условия при запуске и нахождении в космосе. Для точной имитации экстремальных условий окружающей среды в космосе испытания спутника проводят в термовакуумной камере. Тесты продолжительностью до нескольких месяцев выполняются в течение 24 часов в сутки, семь дней в неделю. Испытание в термовакуумной камере обычно является завершающим, так как оно наиболее сложное и дорогое. Для достижения успеха требуется детальное планирование, которое обычно выполняют за 6-18 месяцев до испытания. Испытание в термовакуумной камере может стоить до 1 миллиона долларов США в день, что делает критически важным обеспечение точности всех измерений. Испытание в термовакуумной камере помогает выявить возможные проблемы, такие как газовыделение оборудования или материалов, которые могут загрязнять среду внутри спутника, конструктивные дефекты, вызванные перегревом материалов, а также коронный разряд (электродуговое испарение металла), который может вызвать проблемы в среде низкого давления.

Фото предоставлено NASA/JPL/UA/
Lockheed Martin



Минимизация рисков и достижение максимальной производительности

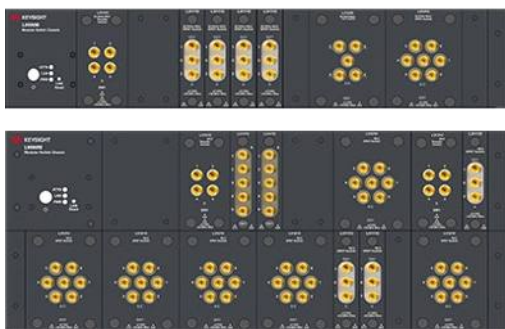


Рисунок 23. Модульный матричный коммутатор L8990M в заказном исполнении

Не стоит идти на компромисс в отношении качества при выборе коммутаторов, кабелей и соединителей. Они оказывают значительное влияние на производительность и надежность всей измерительной системы. В идеале при передаче сигнала между тестируемым устройством и измерительной системой его качество не должно ухудшаться.

Однако в реальных измерительных системах сигнальный тракт всегда оказывает негативное воздействие на сигнал. Степень этого воздействия напрямую связана с частотой сигнала и качеством компонентов тракта. Для обеспечения наилучшей целостности сигнала выбирайте коммутаторы, в которых вносимые потери, обратные потери и развязка не влияют на качество измерений.

- Превосходные ВЧ характеристики обеспечиваются проверенным семейством ВЧ коммутаторов Keysight, гарантирующим низкие потери и воспроизводимость результатов измерений на частотах до 67 ГГц
- Автоматическое и ручное управление обеспечивает контроллер Keysight L449n с портом LAN, набором команд SCPI и графическим веб-интерфейсом пользователя
- Каждый матричный коммутатор Keysight L8990M поставляется в конфигурации, указанной заказчиком
- Передняя и задняя панели изготавливаются в соответствии с требованиями конкретного проекта
- Интерактивные схемы ВЧ трактов для матричного коммутатора Keysight Z2091C позволяют управлять его компонентами наведением курсора и щелчком мыши

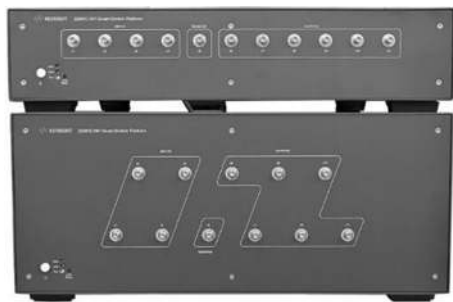


Рисунок 24. Интеллектуальный матричный коммутатор Z2091C

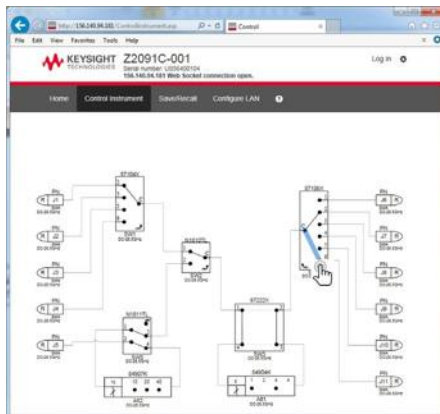


Рисунок 25. Интерактивная схема ВЧ тракта, используемая коммутатором Z2091C

Тестирование спутников, а не ВЧ кабелей

Термовакуумные камеры усложняют условия испытаний в процессе производства спутников. Большая длина кабелей, тепловые эффекты и герметичность камеры делают нецелесообразной калибровку измерений при изменениях условий внутри камеры в течение процесса испытания. Применение сборок из изделий серии CalPod в измерительной системе позволяет выполнять калибровки с передней панели устройства управления системой. Затем калибровка переносится в плоскость измерения ТУ. Такой подход значительно снижает количество требуемых калибровок, делая их более точными и простыми. CalPod позволяет быстро и просто обновлять калибровочные данные анализатора цепей путем нажатия всего одной клавиши. При этом не требуется отключение тестируемого устройства и физическое подключение калибровочных мер.



Рисунок 26. Анализатор СВЧ цепей N5247B серии PNA-X



Рис 27. Модуль CalPod 85542B 40 ГГц для измерений в термовакуумной камере

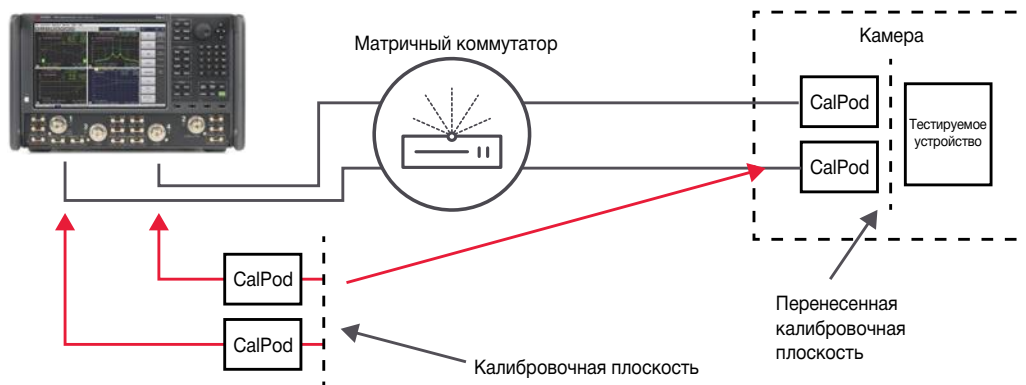
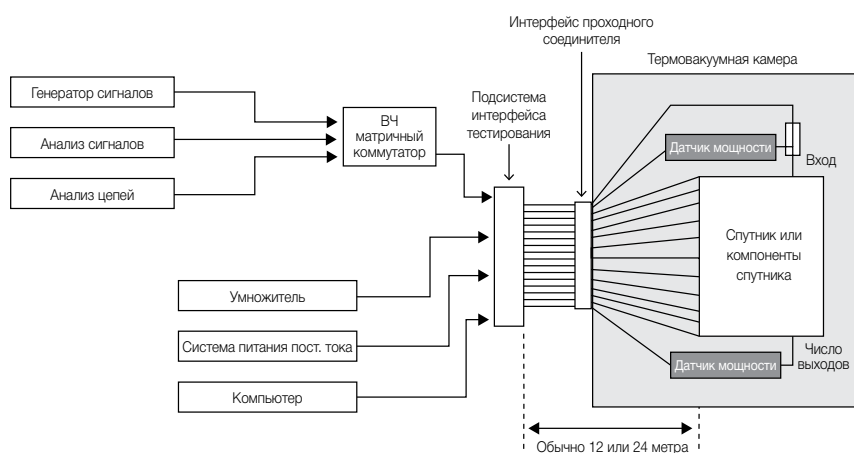


Рисунок 28. Применение модулей CalPod для калибровки при подключенном ТУ

- Используйте модули CalPod, размещенные рядом с ТУ, для исключения влияния кабелей на точность измерений параметров ТУ.
- Устраните случайные ошибки с помощью технологии CalPod, в том числе влияние окружающей среды, например, изменение амплитуды и фазы, вызванные движением спутника или влиянием температуры на измерительные кабели.
- Исключите ошибки воспроизводимости разъемов и матричного коммутатора из общей погрешности измерения характеристик ТУ.

Сверхточное измерение параметров электропитания спутников

В термовакуумную камеру помещают весь спутник, его компоненты или модули. Все электрические соединения должны осуществляться через герметичные проходные муфты для поддержания вакуума. Исторически сложилось так, что измеритель мощности и датчики располагаются вне камеры и подключаются к спутнику с помощью герметичных проходных муфт через матричные коммутаторы. Датчик мощности Keysight L2065XT с интерфейсом LAN сертифицирован для выполнения измерений в термовакуумных камерах. Его можно подключать непосредственно к спутнику внутри камеры.



Датчики мощности Keysight контролируют выходную мощность передатчиков в ходе тестирования и обнаруживают любую нестабильность, выбросы и другие нарушения питания. При обнаружении нарушения программное обеспечение тестирования отключает питание спутника, чтобы предотвратить повреждение. К спутнику можно подключить до 20 измерителей мощности и датчиков для выполнения комплексного тестирования в диапазонах Ku и Ka.

- Датчик мощности для термовакуумной камеры изготовлен из материалов с минимальным газовыделением
- Датчик мощности повышает точность измерений, упрощает их настройку и процедуру калибровки
- Датчик мощности совместим с большим количеством спутниковых сигналов в диапазоне частот от 10 МГц до 53 ГГц в широком диапазоне мощности от -70 до +20 дБм
- Датчики мощности с интерфейсом LAN обеспечивают дистанционный мониторинг на расстоянии до 100 м со стандартным кабелем LAN
- Широкий диапазон частот обеспечивает точное измерение средней мощности сигналов со сложной модуляцией



Рисунок 29. Датчик мощности L2065XT 53 ГГц для измерений в термовакуумной камере



ГЛАВА 7

Эксплуатация и техническое обслуживание

Поддержание качества обслуживания	39
Обнаружение помех	42
Мощные возможности анализа спектра в режиме реального времени для обнаружения помех	44



Поддержание качества обслуживания

Запустить спутник – это далеко не всё. Наземные станции обрабатывают данные, следят за состоянием спутника и контролируют его работу. Наземная станция должна решать собственные уникальные задачи. Современные спутниковые системы передают на наземные станции и принимают от них как никогда комплексные по составу потоки данных. Наземная станция должна обеспечивать высокую мощность передачи. Из-за большого расстояния между космическим аппаратом и землей наземная станция обычно принимает очень слабый сигнал. Неблагоприятные метеорологические условия, включая облачность, влажность и экстремальные температуры, вызывают атмосферное затухание радиоволн. В дополнение к этому, нарушение ориентации антенны также может привести к снижению мощности.

Для коррекции этих отклонений требуется проводить регулярное техническое обслуживание наземных станций. При монтаже и обслуживании наземной спутниковой станции требуется проводить множество измерений в ВЧ и СВЧ диапазонах. Однако перемещение измерительного оборудования на объект, где отсутствуют удобные лабораторные условия, вызывает дополнительные проблемы. Трудности при испытаниях в полевых условиях включают в себя затрудненный доступ, ограничения по мощности питания и температуре окружающей среды, защиту аппаратуры от проникновения пыли и влаги, необходимость в прогреве для достижения точности измерений – и всё это для нескольких единиц оборудования. Транспортировка измерительного оборудования и работа в полевых условиях – как правило, не простая задача.



Рисунок 30. Портативный ВЧ и СВЧ анализатор FieldFox N9918B

Требования к техническому обслуживанию и ремонту наземных станций

а) Требования по тестированию	б) Требуемое оборудование
Антенна <ul style="list-style-type: none"> • обратные потери • юстировка • поляризация • уровень боковых лепестков 	<ul style="list-style-type: none"> • измеритель мощности • анализатор спектра • векторный анализатор цепей • обнаружения места физического повреждения линии передачи (функция измерения расстояния до неоднородности/во временной области) • источник ВЧ сигнала (непрерывный сигнал и свипирование) • источник постоянного тока, вольтметр и амперметр
Линии передачи <ul style="list-style-type: none"> • потери в кабеле и волноводе • коэффициент стоячей волны напряжения вращающегося соединения волноводов (КСВН) • обнаружение места физического повреждения 	
Передатчик <ul style="list-style-type: none"> • характеристики усилителя высокой мощности • характеристики преобразователя • занимаемая полоса частот • мощность в соседнем канале • стабильность частоты 	
Приёмник <ul style="list-style-type: none"> • характеристики маломощного усилителя (МШУ) • характеристики преобразователя помехи • глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) 	
Система <ul style="list-style-type: none"> • эффективная изотропно излучаемая мощность (EIRP) • шумовая добротность (дБ/К), отношение сигнал-шум • BER 	

Наземные станции спутниковой связи состоят из множества сложных специализированных подсистем и компонентов, включая антенны, волноводы, коаксиальные кабели, фильтры, маломощные усилители, понижающие и повышающие преобразователи частоты, усилители высокой мощности и усилители на лампе бегущей волны. Эти компоненты следует проверять при монтаже и эксплуатации станции. Также необходимо контролировать спектральные характеристики всей системы. Обслуживание становится проблематичным, когда станция расположена в отдаленном месте.

Идеальным решением для тестирования становится применение портативного анализатора Keysight FieldFox благодаря его высокой производительности, широким возможностям и малому весу. Это устраняет необходимость в транспортировке нескольких настольных приборов на наземные станции.

- Быстрая настройка характеристик системы с внутренней регулировкой амплитуды для повышения достоверности измерений
- Каждый анализатор имеет функцию CalReady на обоих ВЧ портах для достижения большей эффективности и согласованности измерений
- Совмещение функций нескольких приборов в одном обеспечивает быструю диагностику неисправностей наземных станций
- Точное выявление аномалий сигналов путем записи интересующего участка спектра
- Анализатор FieldFox – это полностью герметичный прибор, достаточно прочный, чтобы соответствовать военным стандартам
- Обнаружение помех с поддержкой дистанционного отображения измерений, а также управления и программирования



Обнаружение помех

В связи с резким увеличением количества спутников и более сложной электромагнитной обстановкой, операторы спутниковой связи и регулирующие органы должны решить проблему обнаружения помех, особенно непериодических и вызванных переходными процессами, а также развертыванием сетей 5G. Программное обеспечение N6820ES Surveyor 4D от компании Keysight предназначено для мониторинга спектра с функциями автоматического поиска и контроля источников радиоизлучения. Оно выполняет внутреннюю или внешнюю обработку сигнала, то есть может захватывать и анализировать изменения спектра или выполнять комплексные исследования радиоэлектронной обстановки. Его мощные функции запуска и тревожной сигнализации не имеют равных среди других средств мониторинга спектра. В ручном режиме это ПО может быть использовано для высокоскоростного отображения спектра с возможностью передачи значения интересующей частоты на внешний приемник для дальнейшего распознавания вида модуляции, записи сигнала, определения пеленга и местоположения источника радиоизлучения.

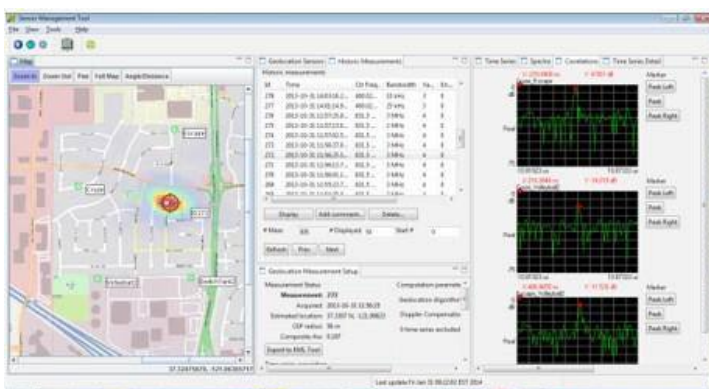


Рисунок 31. Программное обеспечение Signal Surveyor 4D

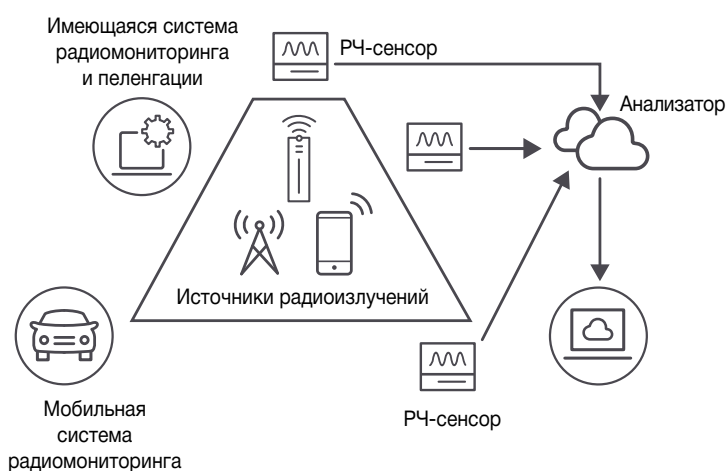


Рисунок 32. Система радиомониторинга и пеленгования

Выбор правильных инструментов

ПО Surveyor 4D работает с РЧ-сенсором N6841A, векторными анализаторами сигналов в формате PXI M9391A или M9393A, а также портативными анализаторами FieldFox. Эти приборы являются высокоэффективными и доступными по цене инструментами для профессионалов в области радиотехники.



Рисунок 33. Портативный анализатор FieldFox



Рисунок 34. Векторный анализатор сигналов в формате PXI M9391A



Рисунок 35. РЧ-сенсор N6841A



Рисунок 36. Высокопроизводительный векторный анализатор сигналов в формате PXI M9393A



Рисунок 37. Широкополосная всенаправленная антенна N6850A



Рисунок 38. Ручная направленная антенна N9910x-822

Мощные возможности анализа спектра в режиме реального времени для обнаружения помех

Уровень помех определяет качество обслуживания. Точное наведение антенны наземной станции и оптимизация ее диаграммы направленности обеспечивают надежную связь в любых погодных условиях. Системы мониторинга спутниковых сигналов на основе технологии свипирования по частоте хорошо работают в условиях помех, которые присутствуют на приемопередатчике в течение длительного времени. Для непреднамеренных помех небольшой продолжительности возможность системы мониторинга обнаруживать сигналы ограничена скоростью свипирования. Благодаря отсутствию пауз в работе функция анализа спектра в режиме реального времени идеально подходит для обнаружения сигналов, вызванных переходными процессами. Она захватывает сигналы помех и четко отображает их на экране. Выделить интересующий сигнал позволяют эффективные механизмы запуска, например, по частотной маске. При использовании с ПО PathWave VSA, эта функция захватывает сигнал помехи, воспроизводит его и осуществляет глубокий анализ.



Рисунок 39. Анализатор сигналов PXA N9030B с функцией анализа 12 каналов спутниковой связи с помехами в режиме реального времени

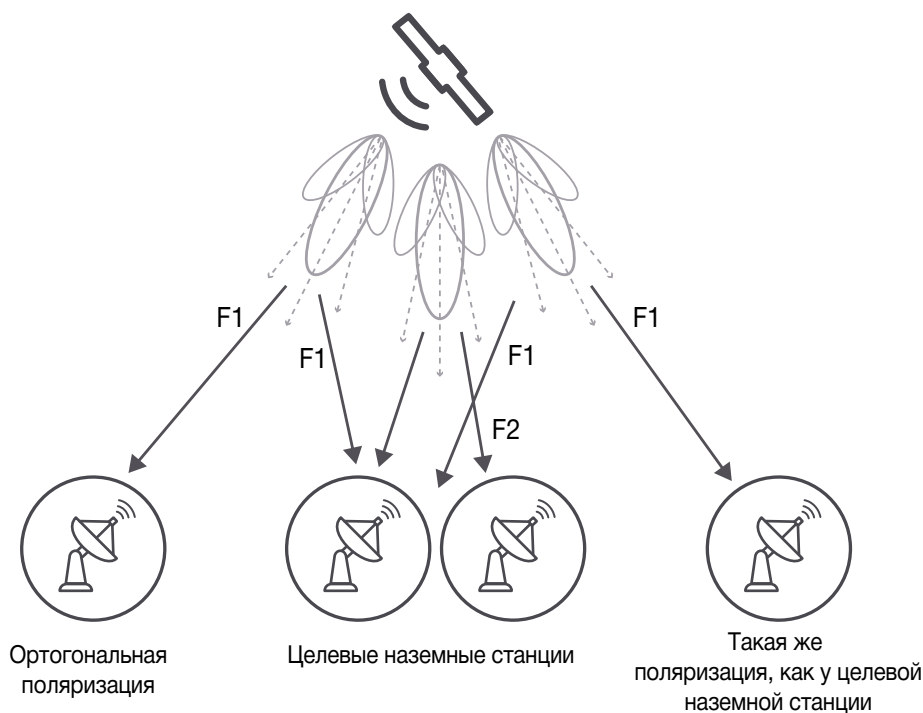


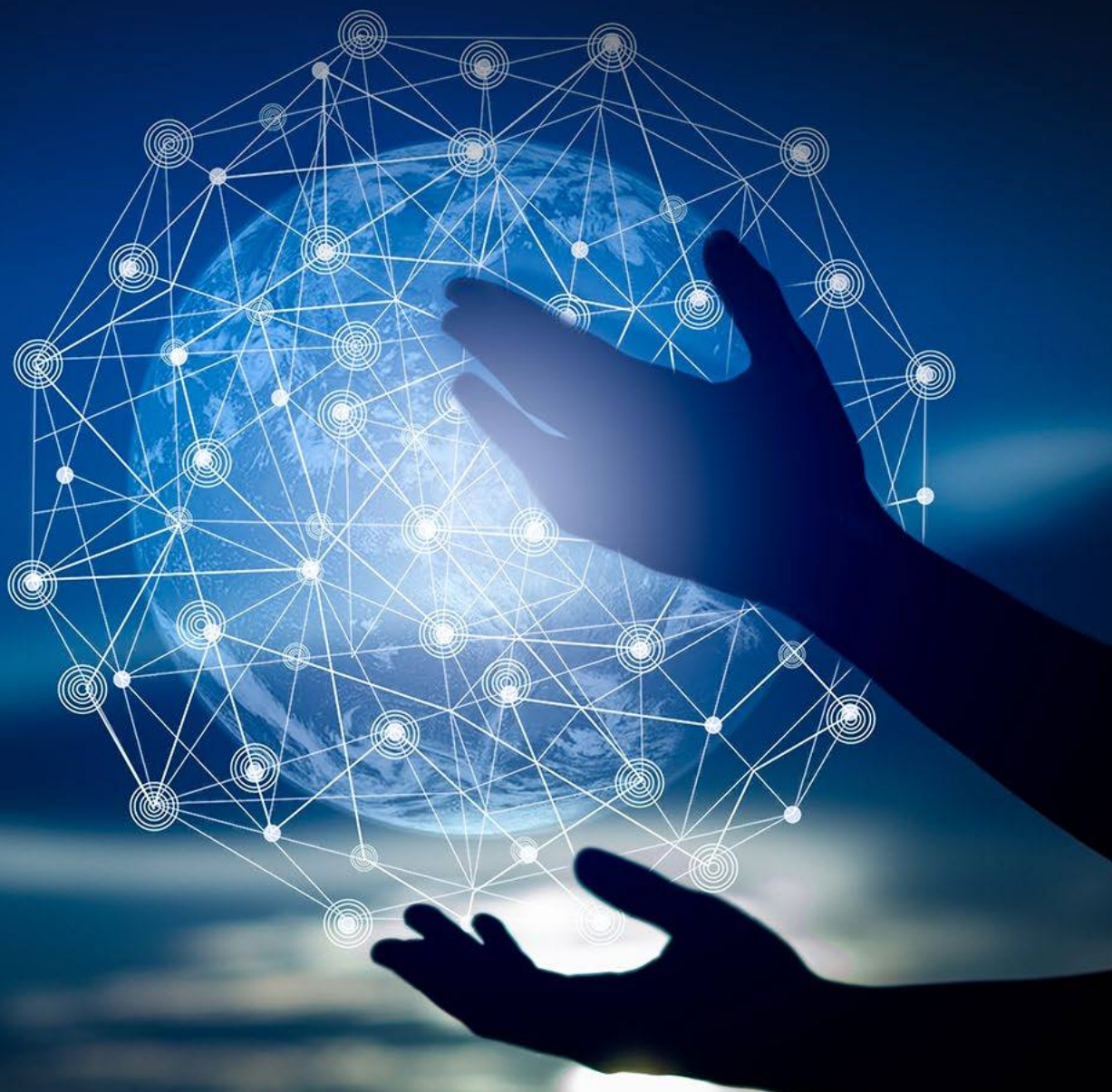
Рисунок 40. Помехи работе наземной станции спутниковой связи



ГЛАВА 8

Услуги и поддержка

Передовые контрольно-измерительные решения для поддержки долгосрочных программ.....	46
Дополнительная информация.....	47



Передовые контрольно-измерительные решения для поддержки долгосрочных программ

Keysight Service предлагает широкий спектр услуг для поддержки инженеров, работающих над спутниковыми программами. Мы понимаем, что инженеры рассчитывают на точные и воспроизводимые измерения, чтобы обеспечить успех космической миссии при соблюдении требований графика и бюджета. Неточные измерения и простои системы влияют на производительность и увеличивают риск выхода из строя устройства во время работы. Появление новых уникальных технологий диктует необходимость постоянной модернизации. Для решения этой проблемы вы можете:

- Реализовать оптимальную стратегию миграции с помощью услуг по обновлению технологий с целью модернизации измерительного оборудования до современного уровня, как только это будет доступно для услуг по модернизации и замене с доплатой
- Проверять ваши приборы на соответствие заявленным техническим характеристикам благодаря наличию глобальной сети Keysight из 69 сервисных центров в 19 странах
- Воспользоваться услугами поверки и калибровки, чтобы повысить производительность и избежать необходимости разбирать и собирать измерительные системы



Мы готовы оказать помощь по всему миру

- 150 офисов
- Ведение бизнеса более чем в 100 странах
- 12 900 сотрудников
- Центр по разработке специализированных ИС и собственное производство
- Технологический центр, занимающийся МИС, оптическими компонентами и корпусами ИС
- Более 1700 патентов
- Более 4000 наименований продукции
- Научно-исследовательские центры в 15 странах мира
- 40 сервисных центров

Дополнительная информация

Проектирование и моделирование

Программное обеспечение для проектирования на системном уровне SystemVue, документ 5992-0106EN

САПР Keysight Advanced Design System, документ 5988-3326EN

Интегрированное ПО моделирования и синтеза ВЧ и СВЧ устройств Genesys, документ 5989-7014EN

Оптимизация разрабатываемых схем

Анализаторы СВЧ цепей N524xB серии PNA-X, документ 5990-4592EN

ПО векторного анализа сигналов Keysight 89600 VSA, документ 5990-6553EN

Система измерения фазового шума Keysight N5511A, документ 5992-4083EN

Усовершенствованное измерение искажений в системах спутниковой связи с использованием метода спектральной корреляции, документ 5992-4190EN

Системная интеграция и эмуляция

ПО генерации сигналов PathWave Signal Creation, документ 5989-6448EN

Решение для эмуляции каналов Prosim для тестирования спутниковых, аэрокосмических и авиационных радиосистем, документ 5992-1606EN

Тестирование антенн

Библиотека диаграмм направленности ФАР W1720EP для САПР SystemVue, документ 5992-1590EN

Производство

Анализ технологических процессов Keysight, документ 5992-1575EN

Преодоление проблемы тестирования многокиловаттных источников питания/нагрузок, документ 5991-2873EN

Решение проблем моделирования солнечных батарей, документ 5990-5915EN

Испытания на воздействие окружающей среды

Обеспечение точного измерения мощности в ВЧ и СВЧ диапазонах при испытаниях спутников в термовакуумной камере, документ 5992-1151EN

Решения для коммутации ВЧ и СВЧ сигналов, документ 5989-8065EN

Эксплуатация и техническое обслуживание

Решение проблем испытаний оборудования спутниковой связи и обнаружения помех, документ 5992-1469EN

Пять главных причин выбора FieldFox для обслуживания наземных станций спутниковой связи, документ 5992-0054EN

Преодоление проблем ВЧ и СВЧ помех при испытаниях в полевых условиях с помощью анализа спектра в режиме реального времени, документ 5992-1722EN

Точная проверка, техническое обслуживание и ремонт наземных станций спутниковой связи с помощью портативных анализаторов FieldFox, документ 5992-0727EN

Услуги и поддержка

8 проверенных способов повышения эффективности инвестиций в контрольно-измерительное оборудование, документ 5992-2593EN



