

Keysight Technologies

Эффективное обслуживание и диагностика
военных радиоэлектронных средств

Рекомендации
по применению

К военным радиоэлектронным средствам (РЭС) относят широкую номенклатуру оборудования: радиостанции ОВЧ/УВЧ диапазона, связную аппаратуру диапазона СВЧ и различные радиотехнические средства – радиолокаторы, спутниковое и навигационное оборудование. Все они могут монтироваться стационарно, а также на наземных транспортных средствах, морских, речных и воздушных судах.

Во всех этих приложениях ухудшение характеристик и даже отказы систем можно проследить до уровня неисправных компонентов: приёмопередающих модулей, кабелей, волноводов, антенн, фильтров или усилителей. Обеспечение их оптимальных характеристик в большой степени зависит от возможности тестирования систем и компонентов в полевых условиях.

Раньше все необходимые измерения выполнялись настольными приборами в стационарной или передвижной мастерской или лаборатории. Сегодня ручной анализатор Keysight FieldFox позволяет техникам и инженерам-эксплуатационникам выполнять измерения стендового уровня в полевых условиях, что обеспечивает два важных преимущества. Первое – это уверенность в полученных результатах, сравнимых по качеству с измерениями, выполненными высокочастотными настольными приборами. Второе – это снижение эксплуатационных расходов, поскольку этот соответствующий военным стандартам прочности и защищенности анализатор весом всего 3 кг объединяет возможности десяти измерительных приборов и обладает встроенной самокалибровкой.

Данный документ рассказывает о том, как с помощью эффективного тестирования обеспечить оптимальные характеристики военных РЭС. Возможности анализатора будут показаны на двух примерах: тестировании и аттестации радиолокационных систем и тестировании радиостанций ОВЧ/УВЧ диапазона.



Краткое описание проблем

Выполнять военные операции невозможно без использования многочисленных радиотехнических средств, работающих в диапазоне от ВЧ до СВЧ. К ним относятся, например, РЛС, используемые для навигации, обнаружения и отслеживания целей. Они работают в диапазонах L (1,4-1,7 ГГц), S (1,9-2,7 ГГц), X (7,25-8,4 ГГц) и выше.

Важным элементом системы связи являются радиостанции ОВЧ/УВЧ диапазона, соединяющие штабы с передовыми подразделениями. Такие радиостанции обычно имеют дальность 16 – 50 км и могут работать на частотах до 1 ГГц. На надёжность связи в диапазоне ОВЧ/УВЧ большое влияние оказывают характеристики антенн.

Другим примером является система из наземных станций спутниковой связи и радиорелейных линий. Наземные станции обычно располагаются недалеко от командного пункта и работают с очень высокой выходной мощностью. Радиорелейные линии отличаются высокой надёжностью и, как правило, работают на частотах ниже 26 ГГц.

Большинство этих решений рассчитано на удовлетворение специальных требований, а уникальные системы требуют уникальных методов тестирования. Но проблемы их технического обслуживания и диагностики часто очень схожи. Например, в каждой из этих систем нужно тестировать кабели, антенны, антенные разветвители и коммутаторы, резонаторные фильтры, малошумящие усилители, аттенюаторы и усилители мощности. Для этого могут потребоваться многочисленные ВЧ измерения:

- Измерения потерь в кабеле и расстояния до неоднородности (DTF)
- Векторный анализ цепей для тестирования компонентов
- Анализ спектра для оценки качества сигнала
- Измерения мощности
- Анализ спектра для обнаружения нежелательных сигналов

Решение этих задач усложняется в экстремальных условиях. К факторам электромагнитной обстановки относится присутствие электромагнитных помех, в том числе мощных ВЧ сигналов. К климатическим факторам относятся температура, влажность, запыленность и атмосферные осадки, а также потенциально взрывоопасные среды (например, содержащие пары топлива). Одной из основных проблем является обеспечение точности и воспроизводимости измерений при экстремальных температурах.

Описание решения

Анализаторы Keysight FieldFox рассчитаны на работу в самых жёстких условиях. Для ускорения технического обслуживания и диагностики исследуемого оборудования, каждый режим работы имеет интерфейс пользователя, соответствующий цели конкретных измерений, что экономит время в полевых условиях. Анализаторы рассчитаны на выполнение любой задачи – от повседневных измерений до углубленной диагностики при ремонте.

Доступные конфигурации FieldFox могут объединять функции до десяти приборов в одном портативном корпусе: кабельного и антенного анализатора; полнофункционального двухпортового векторного анализатора цепей (VNA) с функциями анализа во временной области; анализатора спектра со следящим генератором; измерителя мощности; анализатора помех; векторного вольтметра; частотомера; независимого генератора сигналов; регулируемого источника постоянного тока и амперметра; встроенного приёмника GPS. Благодаря этому вы получаете сравнительно недорогое решение, и вам придется изучить, откалибровать и носить с собой всего лишь один прибор (рис. 1).

Прочный и надёжный FieldFox рассчитан на работу в неблагоприятных полевых условиях, что придётся по вкусу самым требовательным пользователям. Он отвечает очень жёстким техническим требованиям:

- MIL-PRF-28800F класс 2: возможность работы в неблагоприятных условиях, включая применение на открытом воздухе в неуправляемых климатических условиях.
- MIL-STD-801G, метод испытаний 511.5, процедура 1: работа во взрывоопасной атмосфере.
- IEC/EN 60529: степень защиты от попадания твердых посторонних предметов и воды IP53 (пыле- и влагозащищенность).

Специальные возможности FieldFox обеспечивают точность и воспроизводимость измерений в полевых условиях. Например, функции CalReady и QuickCal улучшают измерение кабелей, антенн и электрических цепей.

CalReady – это полная двухпортовая калибровка, выполняемая в заводских условиях во время изготовления каждого прибора. Благодаря ей вы можете просто включить прибор, подключить к нему тестируемое устройство (ТУ) и сразу же выполнить достаточно точные двухпортовые векторные измерения. CalReady обеспечивает высокую точность при непосредственном подключении ТУ к измерительным портам.

QuickCal позволяет выносить эталонную плоскость в конец кабелей или адаптеров, устраняя тем самым их влияние на измерения – без внешних калибровочных комплектов. Это позволяет выполнять точные измерения S-параметров, используя встроенные возможности QuickCal для устранения систематических ошибок, связанных с кабелями и адаптерами, подключенными к измерительному порту. Поскольку QuickCal работает с любыми типами разъемов, то вам не придётся брать с собой для полевых измерений разные адаптеры.

Функция InstAlign используется для анализа спектра и измерения мощности. Она автоматически корректирует амплитуду при изменении климатических условий. Точность амплитуды $\pm 0,5$ дБ гарантируется без прогрева после включения питания анализатора.



Рис. 1. FieldFox удобен в использовании и переноске, а его сменная батарея обеспечивает работу в течение четырёх часов.

Тестирование кабелей и антенн

Для тестирования и проверки параметров кабелей и антенн, являющихся важнейшими элементами любой радиосистемы, используется множество измерительных функций. На базовом уровне главной задачей является проверка целостности линий передачи сигнала, включая антенны.

Любое соединение, дефект или антенна отражают некоторую часть сигнала обратно в источник. Параметры отражения определяются отношением амплитуд и разностью фаз между падающей и отражённой волной. Для оценки отражения применяется один из двух показателей: обратные потери или коэффициент стоячей волны (КСВ). Обе эти величины показывают уровень отражения в некоторой точке линии передачи: в кабеле, разъёме или устройстве (например, в антенне). В сущности, эти показатели связаны между собой обратной зависимостью: чем больше обратные потери, тем лучше; чем меньше КСВ, тем лучше (в идеале, близкие к 1,0).

Упрощение измерений

Функции CalReady и QuickCal упрощают измерение кабелей и антенн. CalReady идеально подходит для измерения отражений в кабелях и антеннах, подключенных прямо к анализатору FieldFox. Кроме того, она полезна для измерения пропускания и отражения в коаксиальных кабелях, подключенных между измерительными портами 1 и 2.

Для использования функции QuickCal с однопортовыми ТУ требуется всего один шаг: выполняется свипирование разомкнутого кабеля или адаптера; для улучшения рассогласования источника может использоваться дополнительная нагрузка. Для измерения двухпортовых устройств понадобится два шага: измерение разомкнутых испытательных кабелей; и свипирование при двух подключённых концах кабеля. По завершении любого процесса эталонная плоскость сдвигается к концу кабеля или адаптера, после чего можно измерять реальный отклик тестируемого устройства.

Определение расстояния до неоднородности

Расчёт расстояния до неоднородности опирается на измерение обратных потерь. Для этого FieldFox предлагает два режима работы: режим полосового фильтра и режим ФНЧ.

Режим полосового фильтра полезен для измерения систем, имеющих ограниченную полосу. Он требует ввода пяти параметров: начального и конечного расстояния, начальной и конечной частоты и типа кабеля. Кроме того, прибор использует специальный алгоритм для подавления ложных пиков, которые могут появляться при использовании этого метода.

Режим ФНЧ полезен для измерения широкополосных систем или устройств (например, кабелей). В этом режиме пользователь вводит три параметра: начальное и конечное расстояние и тип кабеля.

В любом режиме FieldFox отображает результаты в виде зависимости амплитуды в децибелах от расстояния в метрах, причём пиковые значения указывают на повреждения линии передачи (рис. 2). Физическое разрешение зависит от выбранной полосы обзора: чем шире полоса обзора, тем выше физическое разрешение при измерении расстояния.

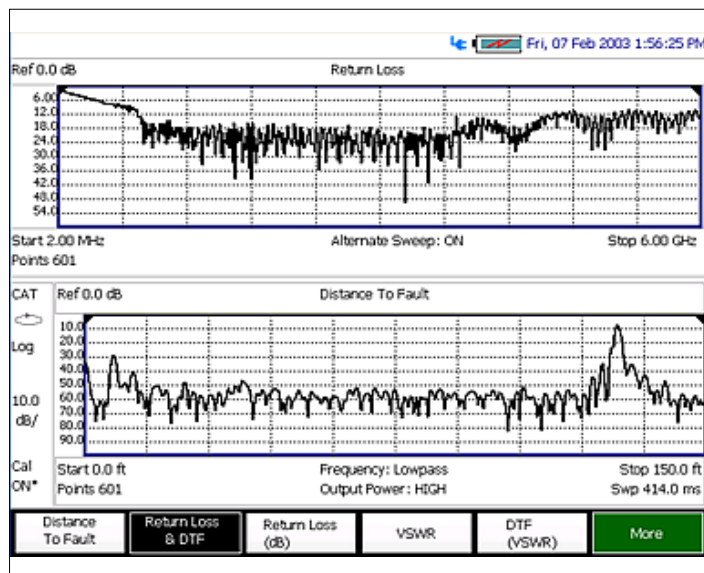


Рис. 2. Спектральное представление обратных потерь с помощью БПФ (верхний рисунок) позволяет найти расстояние до места повреждения (нижний рисунок), которое представляет собой те же обратные потери, но представленные во временной области.

Измерение потерь в кабелях

Для измерения потерь широко используются два метода: однопортовое измерение потерь в кабеле и двухпортовое измерение вносимых потерь. Однопортовый метод обычно применяется для измерения длинных коаксиальных кабелей. Для достижения точных результатов этот метод использует функцию CalReady и обычно обеспечивает достаточно точное измерение. Если тестируемый кабель подключается к прибору через кабель-переходник, то с помощью QuickCal можно перенести эталонную плоскость на конец этого кабеля-переходника.

Двухпортовые измерения вносимых потерь используются, когда легко доступны оба конца кабеля или оба порта устройства. Этот метод требует двухпортовой механической калибровки, которая, как правило, делает его более точным по сравнению с однопортовым методом.

На рис. 3 сравниваются однопортовый и двухпортовые методы. Но, несмотря на очевидный проигрыш в точности, однопортовый метод используется гораздо чаще, поскольку в реальной коммуникационной системе обычно не удаётся получить доступ к обоим концам кабеля.

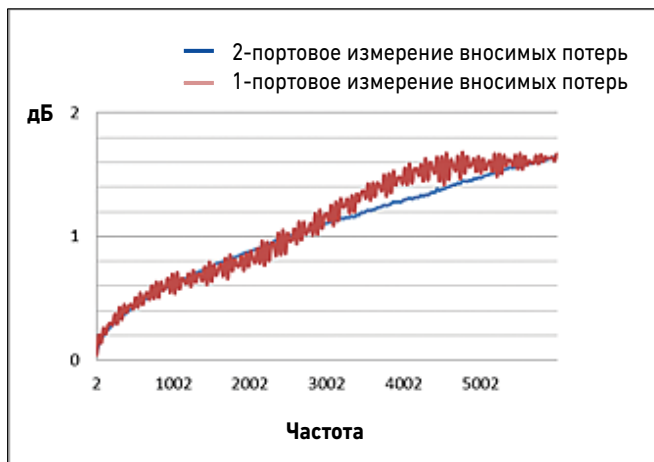


Рис. 3. Хотя двухпортовый метод (синяя линия) значительно точнее, однопортовый метод используется чаще.

Векторный анализ цепей

В анализаторе FieldFox используется архитектура с четырьмя приёмниками, показанная на рис. 4. Она позволяет выполнять широкий диапазон измерений и поддерживает передовые методы калибровки, которые обеспечивают превосходные результаты. Выполняются измерения S-параметров (амплитуды и фазы); групповой задержки, электромагнитной инерции, диаграммы Смита, полярной диаграммы и импеданса, в том числе с выносом тестового порта.

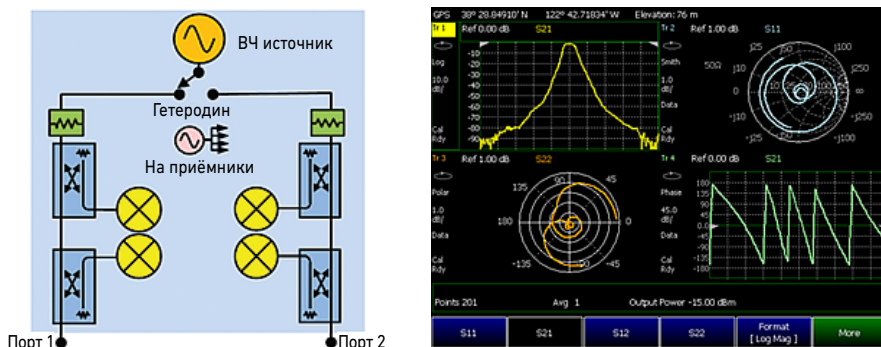


Рис. 4. Реализация архитектуры с четырьмя приёмниками в портативном приборе позволяет выполнять расширенный векторный анализ цепей (рис. справа) в полевых условиях.

Кроме того, FieldFox поддерживает разные методы калибровки: CalReady и QuickCal, однопортовая, двухпортовая, сквозная, быстрая калибровка методом короткозамкнутой нагрузки со смещением (QSOLT), волноводная, «перемычка-отражение-линия» (TRL), отклик и расширенный отклик, а также пользовательская.

Простейший подход заключается в применении методов CalReady, QuickCal с последующей нормализацией. При этом никаких калибровочных комплектов не требуется. Это уменьшает состав комплекта полевого оборудования и сокращает время измерения.

Если нужна более высокая точность, то FieldFox поддерживает расширенные методы калибровки, требующие применения калибровочного комплекта: однопортовую калибровку с использованием калибровочных мер XX, K3, Нагрузка (OSL), полную двухпортовую калибровку и калибровку SOLR, которые требуют применения мер XX, K3, Нагрузка и Перемычка (SOLT). Это вносит дополнительные трудности: высококачественные калибровочные комплекты содержат коаксиальные и волноводные измерительные меры, которые требуют периодической чистки и должны быть защищены от повреждений.

Анализ сигналов

Как отмечалось выше, FieldFox можно сконфигурировать так, чтобы он содержал анализатор спектра, измеритель мощности, анализатор помех (с отображением спектрограммы) и измеритель импульсов. Опции включают полндиапазонный предусилитель, стробируемые измерения спектра, полндиапазонный источник сигналов и полндиапазонный следящий генератор. Упомянутая ранее функция InstAlign обеспечивает номинальную точность спектрального анализа и измерений мощности сразу же после включения питания.

Анализ спектра

Типичные задачи включают обнаружение слабых сигналов в присутствии мощных или поиск сигналов вблизи от мощной несущей. Режим анализатора спектра отличается очень широким динамическим диапазоном, свободным от паразитных составляющих – более 105 дБ, а также крайне низким уровнем фазового шума, который составляет всего –111 дБн/Гц при отстройке 10 кГц.

Для измерения напряжённости электрического и магнитного полей нужно учитывать усиление антенны и потери в кабеле. Коэффициенты усиления антенны и потери в кабеле можно загрузить в FieldFox с помощью органов управления на передней панели или через программу Keysight Data Link.

Во время анализа помех спектрограмма и водопадная диаграмма помогают обнаруживать кратковременные сигналы в коротких и длинных интервалах времени. Сигналы можно записывать во встроенную память или на внешние флэш-накопители, а потом воспроизводить для обработки и анализа в режиме офлайн.

Измерение мощности

Встроенный измеритель мощности достаточно гибок для выполнения задаваемых пользователем измерений мощности в канале с точностью $\pm 0,5$ дБ. В широкой полосе канала FieldFox может имитировать измерения средней мощности.

Измерение импульсов

Эта опциональная функция работает с USB-датчиками пиковой мощности, обеспечивающими эффективные измерения параметров импульсных ВЧ сигналов. Измеряются пиковая мощность, отношение пиковой мощности к средней (PAR) и такие параметры импульсов, как время нарастания и спада, а также частота следования.

Примеры измерений

Каждая единица полевого комплекта оборудования должна использоваться с максимальной эффективностью. И здесь FieldFox не имеет себе равных. Краткий анализ двух примеров – измерений параметров РЛС и радиостанций ОВЧ/УВЧ диапазона – поможет продемонстрировать ценность анализатора FieldFox в ответственных приложениях.

Тестирование и аттестация РЛС

В РЛС имеется ряд компонентов, оказывающих влияние на общие характеристики системы: антенны, коаксиальные кабели, волноводы, антенные разветвители и коммутаторы, усилители мощности, МШУ, генераторы импульсов и стабилизированные гетеродины (STALO). Список полезных тестов охватывает широкий диапазон измерений (см. вставку справа).

При тестировании и аттестационных испытаниях РЛС особенно важны импульсные измерения. Основным показателем является профиль импульсов, для оценки которого нужно проверить точность синхронизации и поддержания уровня мощности в импульсных последовательностях. К измеряемым величинам относят пиковую и среднюю мощность, отношение пиковой мощности к средней, ширину импульса, время нарастания и спада, частоту следования и период повторения импульсов.

В качестве альтернативы, эти измерения можно выполнять в режиме анализатора спектра или с помощью опции стробирования по времени. Это позволяет выполнять одно-временный анализ во временной и частотной областях, а ширину строка можно задать такой, чтобы подвергать анализу один импульс. Кроме традиционных базовых функций запуска, расширенные возможности включают запуск по пакету, задержку запуска и запуск с опережением, что позволяет надёжно захватывать фронты конкретных импульсов.

Тестирование и аттестация радиосистем ОВЧ/УВЧ диапазона

Переносные или автомобильные радиостанции ОВЧ/УВЧ диапазона обеспечивают местную связь на «последней миле». Им свойственны прерывания радиоканала из-за помех или обрыва фидерных линий, причём сильное влияние на надёжность связи оказывают характеристики антенны.

Поддержание высокого качества ВЧ канала является критически важной задачей, которая включает проверку оборудования и прохождения радиосигналов. Упрощённая блок-схема показана на рис. 5. У радиостанции измеряются характеристики фильтров и усилителей, коаксиального кабеля, антенны, а также мощность передачи. Основные проблемы прохождения радиосигнала связаны с его качеством и помехами.

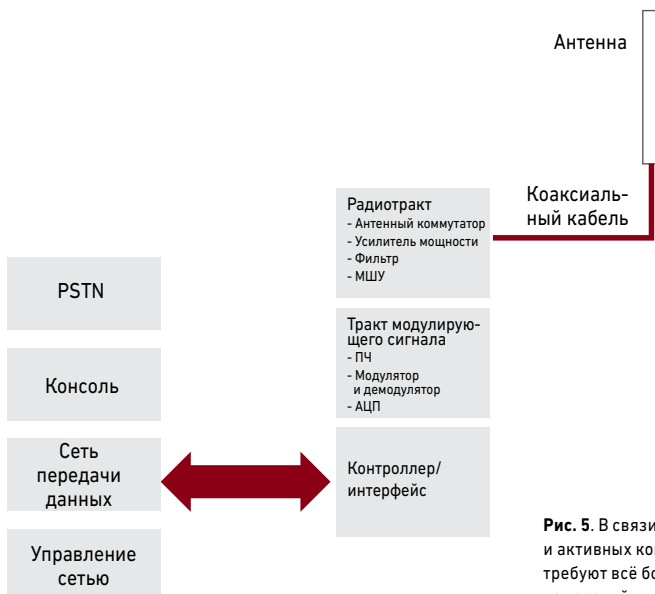


Рис. 5. В связи непрерывным усложнением пассивных и активных компонентов современные радиосистемы требуют всё большего числа более сложных полевых измерений.

Важные измерения при тестировании и испытаниях радиолокационных систем

- Тест кабелей и антенн
- Импульсные измерения
- Измерения фазированных антенных решёток
 - Измерение амплитуды и фазы S_{21} с помощью VNA
 - Измерения A/B с помощью векторного вольтметра (VVM)
- Настройка канала в системе генерации тестовой цели
 - Измерение амплитуды и фазы с помощью VNA или VVM
- Аттестация антенного коммутатора
- Настройка фазы сигнала STALO с помощью VNA или VVM
- Настройка фазы антенного порта (сигма и дельта)
 - Измерения A/B с помощью векторного вольтметра (VVM)
- Измерения аттенюатора
 - Измерение S_{21} или S_{11} с помощью VNA
- Тестирование волноводов

Тестирование и аттестация радиосистем ОВЧ/УВЧ диапазона (продолжение)

Тестирование и аттестация таких систем в полевых условиях порождает несколько метрологических проблем. Например, активные компоненты, такие как усилители мощности и усилители на антенных мачтах, могут генерировать интермодуляционные сигналы между каналами или системами.

Другая проблема связана с присутствием шумов и помех, которые влияют на сетевые соединения, пропускную способность системы, качество речи и скорость передачи данных. К потенциальным проблемам относятся помехи совмещённого и соседнего каналов, интермодуляционные помехи, помехи в нисходящем и восходящем каналах, внешние помехи.

В антенно-фидерных системах чрезмерные обратные потери в тракте передачи снижают отношение сигнала к шуму (С/Ш) в восходящем канале, а чрезмерные обратные потери и тракте приёма снижают С/Ш в нисходящем канале. Кроме того, высокие уровни мощности в фидерах и антеннах могут порождать пассивную интермодуляцию.

Три функции анализатора FieldFox упрощают и улучшают процесс измерения: это готовые наборы настроек для определённых стандартных ВЧ сигналов, функция настройки и прослушивания, а также функция записи/воспроизведения.

В меню готовых наборов настроек FieldFox можно выбирать частоту и другие параметры канала, соответствующие некоторым конкретным стандартам; настройки для других стандартов можно импортировать в виде файлов текстового формата CSV. Прибор устанавливает нужную центральную частоту и выбирает полосу обзора, включающую частоты восходящего и нисходящего каналов. Пользователь может управлять измерениями, выбирая канал, а не частоту. Встроенные измерительные функции включают измерения мощности в канале, занимаемой полосы частот и относительного уровня мощности в соседнем канале (ACPR).

Функция настройки и прослушивания, которую можно использовать для идентификации помех, охватывает три диапазона: АМ с полосой 35 кГц, узкий ЧМ с полосой 12 кГц и широкий ЧМ с полосой 150 кГц. Демодулированные сигналы можно прослушивать через встроенный громкоговоритель или наушники (штекер 3,5 мм). Поскольку тюнер отделён от дисплея анализатора спектра, то пользователь может прослушивать одну частоту, а отображать другой диапазон частот.

Режим записи/воспроизведения особенно полезен для обнаружения кратковременных сигналов. Спектр или сигналы можно записать и затем воспроизвести для детального анализа – прямо на месте или позже, в более спокойной обстановке. Данные можно сохранять во встроенной памяти или на внешнем устройстве, таком как USB-накопитель или SD-карта.

Заключение

Большинство военных РЭС рассчитано на удовлетворение специальных требований, а уникальные системы требуют уникальных методов тестирования. Но проблемы их технического обслуживания и диагностики часто очень схожи. Надёжные анализаторы FieldFox компании Keysight способны решать любые задачи, от ежедневного технического обслуживания до углубленной диагностики. Их точность сравнима с точностью настольных приборов, что даёт большую уверенность в достоверности полевых измерений.

Наша главная задача – помочь вам ликвидировать все «узкие места». С усложнением технологий обеспечивать эксплуатационную готовность радиосистем становится всё труднее, но с продукцией Keysight вы можете быть уверены в успехе. Благодаря нашему богатому опыту в области метрологии и испытаний у вас появится больше времени и возможностей для решения серьёзных проблем, выполнения текущих задач и перехода к перспективным решениям. Помогая поддерживать эксплуатационную готовность систем, компания Keysight позволяет вам сосредоточиться на главном.

Общая диагностика

Благодаря обширному набору встроенных функций FieldFox поддерживает общую диагностику радиостанций, РЛС, систем РЭБ и спутниковых систем. Вот только некоторые виды тестов:

- Уровень принимаемого сигнала
- Измерения мощности
- Оценка потерь в сигнальном тракте
- Анализ помех
- Свипирование антенны, волновода и кабеля
- Аттестация фильтра/сумматора
- Аттестация и настройка передатчика/приёмника

Анализатор FieldFox с высочайшей точностью может решать любые задачи, от ежедневного технического обслуживания до углубленной диагностики.

Дополнительная информация

- Рекомендации по применению: *Сравнение СВЧ измерений, выполненных ручными и настольными анализаторами*, публикация 5991-0422EN
- Рекомендации по применению: *Методы точной аттестации характеристик РЛС в полевых условиях*, публикация 5991-4107EN
- Рекомендации по применению: *Методы точных измерений кабелей и антенн в полевых условиях*, публикация 5991-0419EN
- Рекомендации по применению: *Методы точной калибровки в полевых условиях*, публикация 5991-0421EN
- Рекомендации по применению: *Методы точного измерения мощности в полевых условиях*, публикация 5991-0423EN
- Рекомендации по применению: *Методы точного измерения помех в полевых условиях*, публикация 5991-0418EN
- Брошюра: *Ручные анализаторы Keysight FieldFox*, публикация 5990-9779EN
- Техническое описание: *Ручные анализаторы Keysight FieldFox*, публикация 5990-9783EN
- Технический обзор: *Комбинированные ручные комбинированные анализаторы Keysight FieldFox*, публикация 5990-9780EN
- Технический обзор: *Ручные анализаторы спектра Keysight FieldFox*, публикация 5990-9782EN

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

Персонализированное представление интересующей вас информации.



www.axiestandard.org

AXIe представляет собой открытый стандарт, основанный на AdvancedTCA®, с расширениями для контрольно-измерительных приложений. Компания Keysight входит в число основателей консорциума AXIe. ATCA®, AdvancedTCA® и логотип ATCA являются зарегистрированными в США товарными знаками PCI Industrial Computer Manufacturers Group.



www.lxistandard.org

LXI представляет собой интерфейс на основе Ethernet, пришедший на смену интерфейсу GPIB. Он обеспечивает более быстрый обмен данными и позволяет использовать в измерительных приборах веб-технологии. Компания Keysight входит в число основателей консорциума LXI.



www.pxisa.org

PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) – это формат модульного высокопроизводительного вычислительного и контрольно-измерительного оборудования, предназначенного для работы в жестких производственных условиях.



Трехлетняя гарантия

www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty

Компания Keysight обеспечивает высшее качество выпускаемой продукции и минимальные общие эксплуатационные расходы. Подтверждением этому является стандартная трехлетняя гарантия на все предлагаемые приборы независимо от региона продажи.



Планы компании Keysight по гарантийному обслуживанию

www.keysight.com/find/AssurancePlans

Пятилетняя страховка защитит вас от внеплановых расходов, связанных с ремонтом и калибровкой приборов.



www.keysight.com/go/quality

Система управления качеством Keysight Technologies, Inc. сертифицирована DEKRA по ISO 9001:2008.

Торговые партнеры компании Keysight

www.keysight.com/find/channelpartners

Получите двойную выгоду: богатый опыт и широкий выбор продуктов Keysight в сочетании с удобствами, предлагаемыми торговыми партнерами.

www.keysight.com/find/ad

Российское отделение Keysight Technologies

115054, Москва, Космодамианская
наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973954

8 800 500 9286 (Звонок по России
бесплатный)

Факс: +7 (495) 7973902

e-mail: tmo_russia@keysight.com

www.keysight.ru

Сервисный Центр Keysight Technologies в России

115054, Москва, Космодамианская
наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973930

Факс: +7 (495) 7973901

e-mail: tmo_russia@keysight.com