

Анализаторы сигналов Keysight*: что это такое?

Владимир ДЬЯКОНОВ,
д. т. н., профессор
vpdyak@yandex.ru

Еще несколько лет назад пользователи измерительных приборов Agilent Technologies обнаружили, что в ассортименте компании появились приборы с непривычными названиями — «анализаторы сигналов». Ведь были уже анализаторы классифицированных сигналов — логические, радиочастотные, антенные, радиолокационные и т. д. Но осенью 2013 года из презентаций компании выяснилось, что новые приборы пришли на смену анализаторам спектра и их выпуск резко возрос. Так в чем же особенность анализаторов сигналов по сравнению с прежними анализаторами спектра? Попробуем ответить на этот вопрос.

Развитие сверхскоростной электроники, радиолокации и широкополосных систем связи потребовало для их исследования, разработки и тестирования множества самых разнообразных и порою дорогих измерительных приборов — мультиметров, осциллографов, анализаторов спектра, логических анализаторов, анализаторов сигналов шин и т. д. [1]. Это было особенно характерно для научной, оборонной и промышленной сфер народного хозяйства.

Разработчики измерительных приборов давно поняли необходимость расширения функционала своих изделий. Практически во всех цифровых осциллографах появилась возможность проведения спектрального анализа сигналов в частотной области методом быстрого преобразования Фурье (БПФ). А корпорация Tektronix выпустила многодоменные осциллографы серии MDO4000, в которых функции анализа сигналов во временной и логической областях объединены с функциями анализа в частотной области. Сделано это с помощью встроенного в прибор простого и дешевого анализатора спектра радиочастот.

Компания Keysight пошла по другому пути — в основу своих многофункциональных анализаторов сигналов она положила самые современные анализаторы спектра с намного более высокими частотами исследуемых сигналов, чем у осциллографов, и с более высокой чувствительностью. В руководстве по комплектованию анализаторов сигналов [2] на примере исследования приемника цифровой линии связи (рис. 1) явно указано место новых приборов — высокоскоростные и СВЧ-тракты с современными цифровыми методами модуляции и манипуляции.

Большинство анализаторов сигналов имеет открытую архитектуру (рис. 3) и встроенный

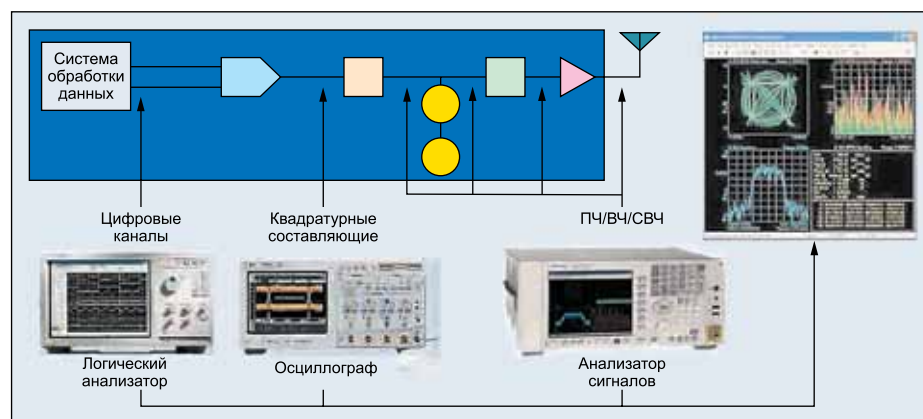


Рис. 1. Место анализатора сигналов при тестировании приемника цифровой линии связи

персональный компьютер (ПК) с массовой операционной системой Windows и своим жестким диском. Это резко увеличивает число доступных программ, которые в виде опций могут устанавливаться на жесткий диск ПК.

На рис. 2 указаны основные серии выпускаемых компанией Keysight анализаторов сигналов и диапазоны частот исследуемых

и тестируемых ими сигналов. Они достигают десятков ГГц и даже сотен ГГц при применении СВЧ- и микроволновых модулей. Характерной особенностью ряда анализаторов сигналов стала близкая к нулю нижняя граница частоты рабочего диапазона частот, что уменьшает погрешность анализа в области низких частот. Кроме того, у некото-

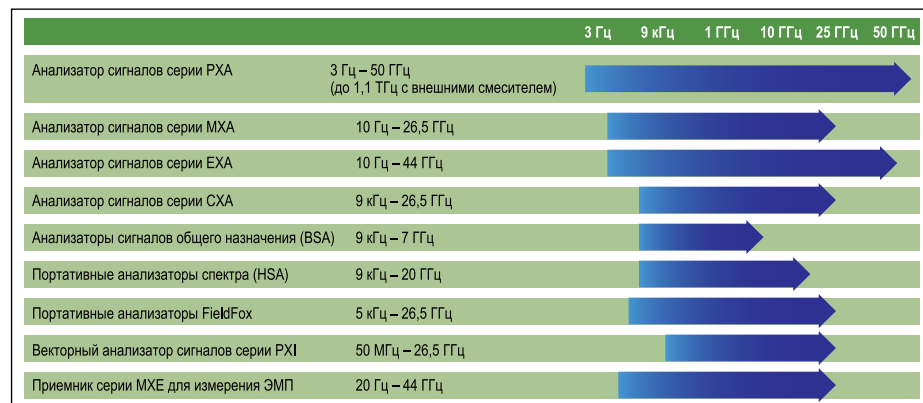


Рис. 2. Анализаторы сигналов компании Keysight и диапазоны частот исследуемых ими сигналов

* Группа электронных измерений Agilent Technologies — теперь Keysight Technologies.

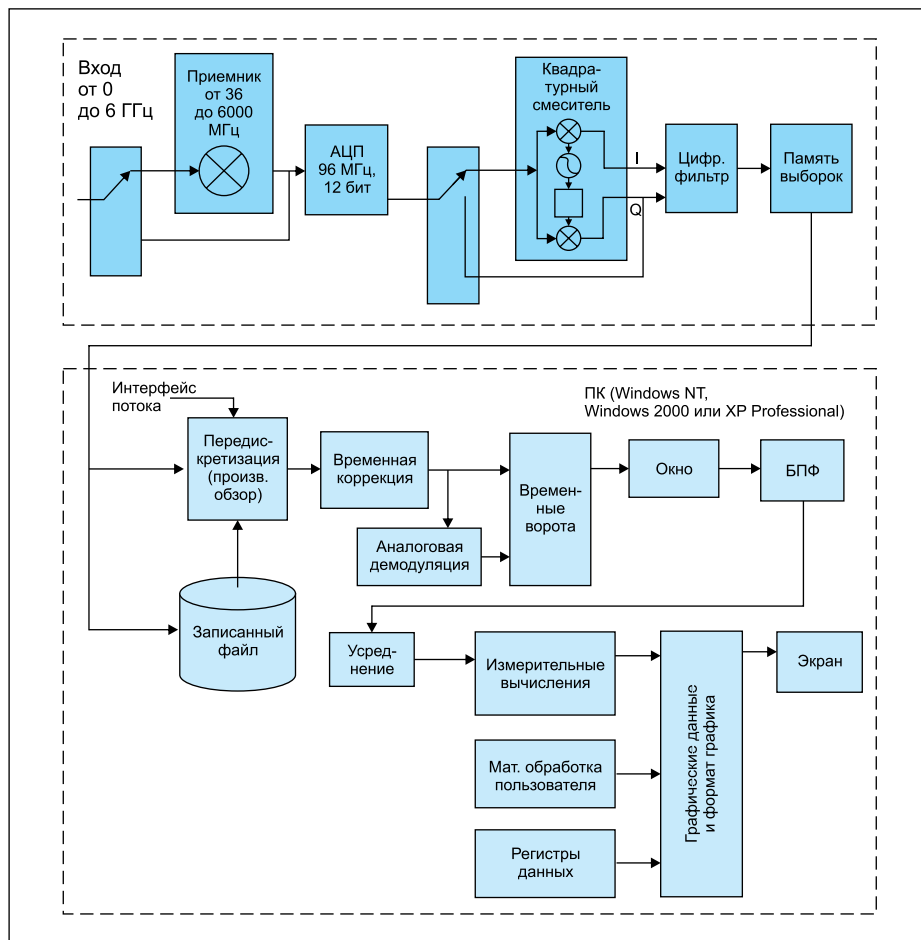


Рис. 3. Типичная функциональная схема анализатора сигналов с открытой архитектурой

рых приборов значительно увеличена полоса тракта промежуточной частоты, что позволяет использовать приборы и во временной области для исследования коротких импульсов получать широкие полосы демодуляции.

Внешний вид приборов Keysight для частотного анализа (анализаторов сигналов

и спектра) показан на рис. 4. Он довольно обычный для современных цифровых приборов с типовым интерфейсом пользователя, отличается простотой и естественностью работы. Большинство приборов имеет возможность работы с матричной системой компьютерной математики MATLAB, а также средства

для подключения к внешнему ПК по локальной шине USB, приборному интерфейсу GPIB и локальной сети LAN. Предусмотрено подключение флэш-модулей памяти для записи и считывания данных об исследуемых сигналах и настройках приборов.

Существуют определенные экспортные ограничения, затрагивающие предельные диапазоны частот анализаторов сигналов. В частности это касается приборов диапазона свыше 75 ГГц, которые в нашей стране применяются довольно редко.

Анализаторы сигналов общего назначения BSA

Анализатор сигналов общего назначения BSA N9322C компании Keysight — это современный бюджетный анализатор с расширенными возможностями [3]. Любопытно, что на сайте компании Keysight он указан как анализатор сигналов, тогда как на фотографии прибор (рис. 5) представлен «по старинке» и именуется анализатором спектра. Видно, что прибор оснащен трекинг-генератором (опция) и имеет коаксиальный разъем его выхода. Частотный диапазон анализатора стандартный для недорогих анализаторов спектра — от 9 кГц до 7 ГГц, что характерно для типовой и дешевой элементной базы таких приборов.

Основные характеристики прибора:

- малый средний уровень собственного шума (DANL): -152 дБм;
- абсолютная погрешность измерения уровня: $0,3$ дБ;
- встроенный предусилитель до 7 ГГц (опция);
- анализ сигналов с амплитудной и частотной модуляцией (AM/FM) (опция), амплитудной и частотной манипуляцией (ASK/FSK) (опция);
- одноклавишные измерения мощности с помощью ПО Keysight PowerSuite: измерение мощности в канале, занимаемой полосы частот (OBW), относительной мощности в соседнем канале (ACLR), спектральной маски излучения (SEM) (в стандартной комплектации), построение спектрограммы (опция);
- размеры: $132,5 \times 320 \times 400$ мм;
- вес: $7,6$ кг;
- потребляемая мощность: 25 Вт;
- рабочая температура: от $+5$ до $+45$ °C.

Анализ спектра на портативном приборе N9320B выполняется на профессиональном уровне и обеспечивает следующие расширенные возможности:

- Минимальная длительность развертки: менее 10 мс.
- Полоса пропускания (RBW): от 10 Гц до 1 МГц.
- Средний уровень собственного шума (DANL): -130 дБм, -148 дБм (при включенном предусилителе).
- Суммарная погрешность измерения уровня: $\pm 0,5$ дБ.



Рис. 4. Приборы Agilent для частотного анализа сигналов

- Широкие измерительные возможности.
- Анализ спектра со стробированием по времени.
- Встроенные функции измерения мощности: мощности в канале, занимаемой полосы частот (OBW), мощности в соседнем канале (ACP), спектральной маски излучения (SEM), интермодуляционных искажений (TOI).
- Встроенные функции измерения мощности с поддержкой измерителей мощности Keysight серии U2000.
- Дополнительные возможности по анализу сигналов с амплитудной и частотной модуляцией (AM/FM), амплитудной и частотной манипуляцией (ASK/FSK).
- Доступность и простота использования.
- Возможность установки пользователем настроек, активируемых при включении прибора и в процессе работы.
- Интерфейсы USB и LAN в стандартной комплектации.
- Многоязычный графический пользовательский интерфейс.
- Бесплатное программное обеспечение для дистанционного управления прибором.



Рис. 5. Анализатор сигналов общего назначения BSA N9322C

На рис. 6 показан типичный пример измерения мощности сигнала прибором в канале. На экране прибора представлен спектр мощности и таблица с результатами ее вычисления. Это сделано в стиле современного мультиметра.

При разработке прибора очень большое внимание было уделено анализу модулиро-

ванных радиосигналов, в том числе с высокоскоростной цифровой модуляцией и манипуляцией. Прибор имеет средства демодуляции таких сигналов и позволяет строить спектры этих сигналов, их временные зависимости (рис. 7) и специальные диаграммы, представляющие такие сигналы в наиболее

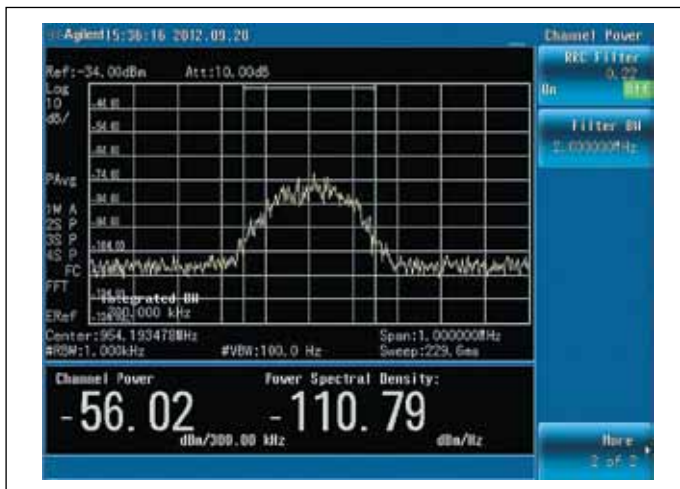


Рис. 6. Измерение мощности в канале

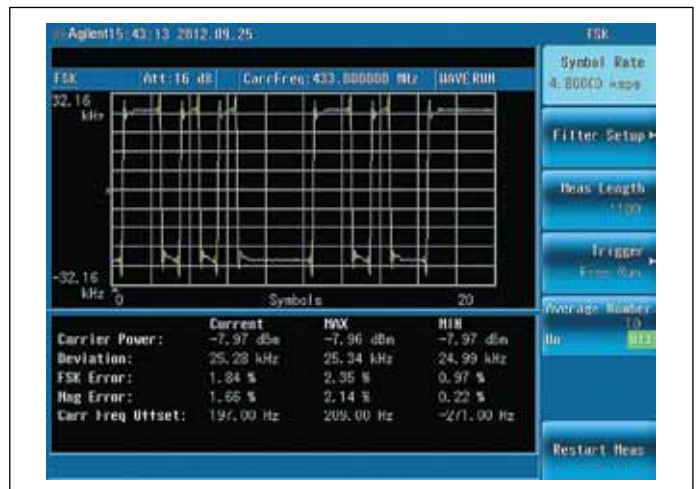


Рис. 7. Демодуляция FSK с построением формы сигнала данных

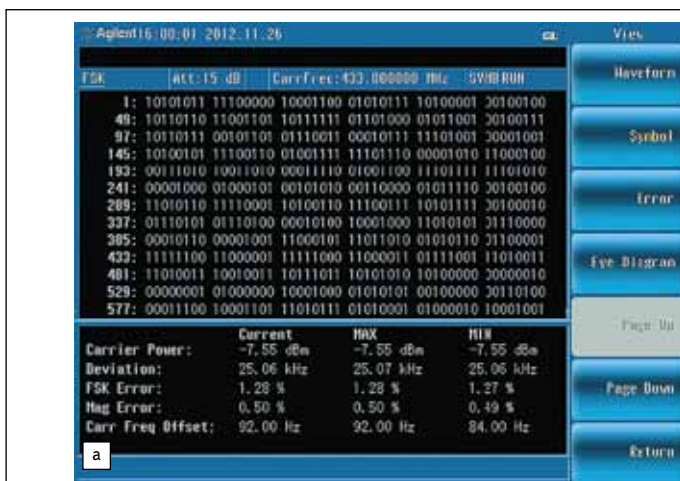


Рис. 8. Просмотр: а) страницы кодов FSK; б) гистограммы кодов FSK

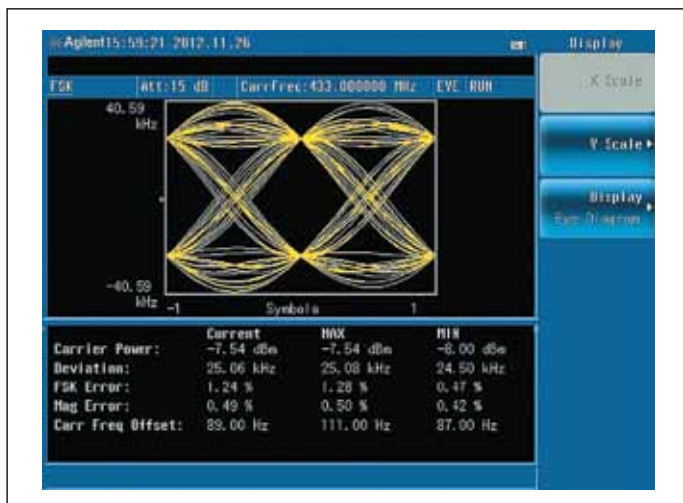


Рис. 9. Демодуляция FSK с построением глазковой диаграммы

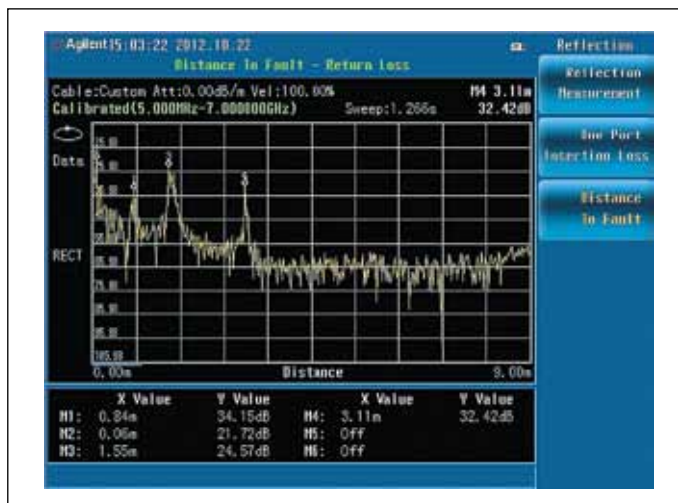


Рис. 10. Измерение расстояния в режиме рефлектометра

наглядной и современной форме в частотной и временной областях.

На экране анализатора возможен постраничный обзор кодов сигналов (байтов), передающих алфавитно-цифровую информацию в двоичном виде (рис. 8а), или гистограмм байтов (рис. 8б).

Прибор обеспечивает анализ сигналов не только в частотной, но и во временной области. Например, при необходимости демодулированного сигнала (рис. 9), представляющая отображение радиус-векторов всех возможных состояний передаваемого сигнала на комплексной плоскости. Это принципиальное преимущество анализатора сигналов перед обычными (не векторными) анализаторами спектра.

Прибор позволяет, как и современный цифровой осциллограф, выполнять рефлектоскопию линий передачи и иных объектов и строить временные диаграммы сигналов и их отражений. По времени отражений можно определять временную задержку между основным импульсом и его отражениями и измерять расстояние (дистанцию) (рис. 10).

Возможно измерение прямых и возвратных потерь. При этом анализатор позволяет строить графики уровня потерь в зависимости от частоты (рис. 11).

Для расширения возможностей этих анализаторов сигналов компания Keysight предлагает следующие опции:

- N9322C-P07 — предусилитель до 7 ГГц.
- N9322C-PFR — прецизионный опорный генератор.
- N9322C-AMA — демодуляция AM- и FM-сигналов.
- N9322C-DMA — демодуляция ASK- и FSK-сигналов.
- N9322C-TG7 — трекинг-генератор до 7 ГГц.
- N9322C-MNT — запись и воспроизведение сигналов с помощью спектрограммы.
- N9322C-TMG — анализ спектра со стробированием по времени.

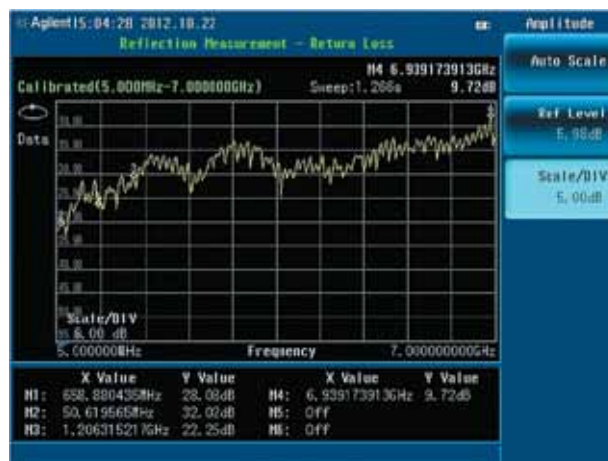


Рис. 11. Измерение возвратных потерь в диапазоне частот от 4 до 7 ГГц

- N9322C-RM7 — измерения параметров отражения.
- N9322C-PWM — работа с USB-сенсорами средней мощности (серия U2000).
- N9322C-PWP — работа с USB-сенсорами пиковой и средней мощности.

Анализатор сигналов N9030A PXA

Анализаторы сигналов N9030A PXA (рис. 12) — это приборы экстра-класса с превосходными и почти бескомпромиссными техническими характеристиками, весьма



Рис. 12. Анализатор сигналов N9030A PXA серии X

обширными функциональными возможностями и самым мощным программным обеспечением [4]. Приборы имеют открытую архитектуру и сертифицированы на соответствие классу С стандарта.

Доступны следующие модели анализаторов: N9030A-503 (от 3 Гц до 3,6 ГГц); N9030A-508 (от 3 Гц до 8,4 ГГц) и т. д. до N9030A-550 (от 3 Гц до 50 ГГц).

Ключевые возможности приборов:

- Внутренний предусилитель до 50 ГГц (опция).
- Полоса демодуляции 10 (стандартная комплектация), 25, 40, 85, 125 и даже 160 МГц (опция).
- Расширение диапазона частот до 110 ГГц с помощью интеллектуальных смесителей компании Keysight и до терагерцевого диапазона с помощью смесителей других производителей.
- Возможность добавления функции анализа спектра в режиме реального времени со 100%-ной вероятностью захвата сигналов длительностью от 3,57 мкс.

Основные технические характеристики приборов:

- Абсолютная погрешность измерения уровня: $\pm 0,19$ дБ.
- Уровень точки пересечения третьего порядка (TOI): +22 дБм.
- Средний уровень собственного шума (DANL) с включенным предусилителем и технологией понижения собственного шума: -172 дБм.
- Динамический диапазон измерения относительной мощности в соседнем канале (ACLR) системы W-CDMA (с опцией коррекции шума): -83 дБ (ном. 88 дБ).

Измерительные приложения и программное обеспечение:

- Поддержка более 25 измерительных приложений для беспроводной связи, цифрового видео и задач общего назначения.
- Расширенный анализ сигналов 75 форматов с помощью встроенной программы векторного анализа сигналов VSA 89600B.
- Программное обеспечение MATLAB для решения широкого круга задач по анализу данных, визуализации и автоматизации измерений.
- Одноклавишные измерения мощности с помощью программы Keysight PowerSuite в стандартной комплектации.

Автоматизация и возможности подключения к внешнему персональному компьютеру:

- Соответствие стандарту LXI класс C, поддержка команд SCPI, IVI-COM.
- Интерфейсы USB 2.0, 1000 Base-T LAN, GPIB.
- Совместимость программных кодов с анализаторами сигналов серии PSA, 8566/68, 856х.
- Единый пользовательский интерфейс для всех анализаторов сигналов серии X/Открытая ОС Windows.

Трехмерная диаграмма уровней точек пересечения третьего порядка (TOI) от разнесе-

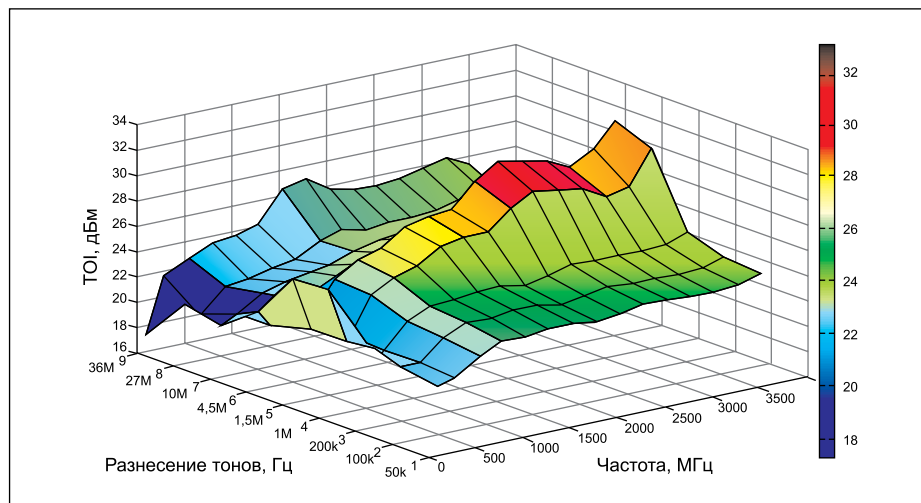


Рис. 13. Зависимость TOI от разнесения тонов и частоты

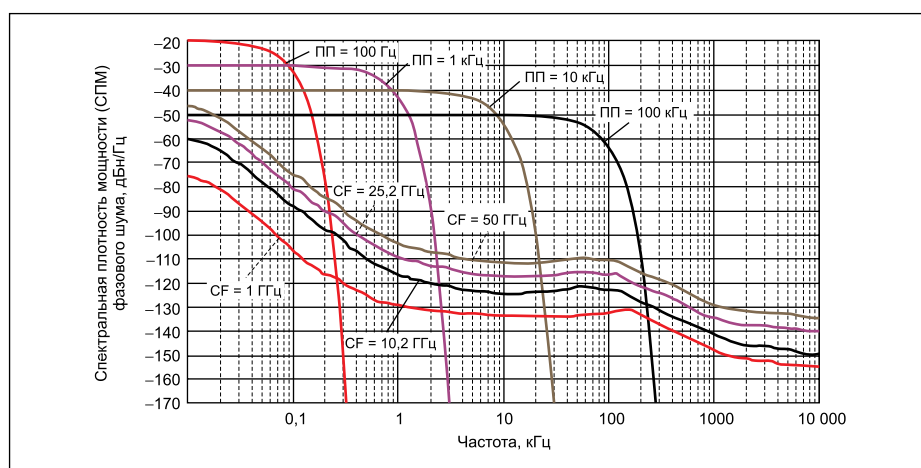


Рис. 14. Зависимости спектральной плотности мощности фазового шума от частоты

ния тонов и частоты представлена на рис. 13. Приборы имеют малый уровень шума (рис. 14) и интермодуляционных искажений. По этим характеристикам анализаторы серии PXA являются, пожалуй, лучшими в отрасли.

Анализатор сигналов имеет опцию, обеспечивающую его работу в качестве анализатора спектра реального времени и возможность построения спектрограмм, задающих амплитуды составляющих сигнала в виде

поверхностей разного цвета в плоскости частота-время (рис. 15а). Эти возможности еще недавно были присущи только анализаторам спектра реального времени корпорации Tektronix, но в последние годы стали популярными и у приборов других фирм.

На рис. 15б показана цветная спектрограмма специального радиолокационного сигнала с быстрыми скачками частоты во времени. Эти скачки отчетливо видны на спектрограмме.

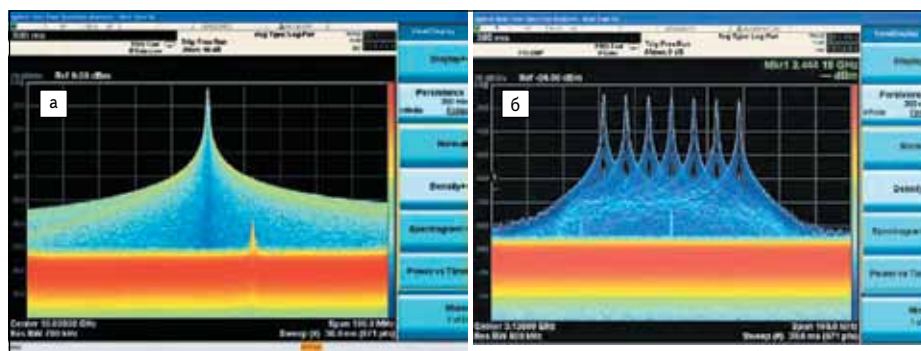


Рис. 15. Цветная спектрограмма: а) сигнала в виде поверхностей разного цвета в зависимости от частоты появления; б) радиолокационного сигнала с быстрыми скачками частоты

Анализатор сигналов N9000A серии CXA

Анализатор сигналов Keysight N9000A CXA (рис. 16) был задуман как недорогой универсальный прибор, обеспечивающий широкие функциональные возможности [5]. С помощью дополнительных программ и измерительных приложений можно использовать CXA для анализа более 75 стандартов модуляции. Присущие приборам серии X возможности по расширению и интеграции с другими моделями позволяют эффективно применять анализатор CXA в учебном процессе и в научных лабораториях.

Базовые измерения с помощью анализатора сигналов N9000A CXA:

- Диапазон частот: от 9 кГц до 3 ГГц, 7,5 ГГц, 13,6 ГГц или 26,5 ГГц; внутренний предусилитель до 26,5 ГГц (опция).
- Полоса демодуляции: 10 и 25 МГц (опция).
- Встроенный следящий генератор до 3 или до 6 ГГц (опция).
- Дополнительный входной разъем 75 Ом, 1,5 ГГц (опция).

Основные технические характеристики:

- Абсолютная погрешность измерения уровня: $\pm 0,5$ дБ.
- Уровень точки пересечения третьего порядка (TOI): до +17 дБм.
- Средний уровень собственного шума (DANL) с включенным предусилителем: -163 дБм (на частоте 1 ГГц); -147 дБм (на частоте 26,5 ГГц).
- Динамический диапазон измерения относительной мощности в соседнем канале (ACLR) системы W-CDMA (с опцией коррекции шума): до 73 дБн.

Измерительные приложения и программное обеспечение:

- Поддержка более 25 измерительных приложений, включая приложения для беспроводных коммуникаций, цифрового видео и задач общего назначения.
- Расширенный анализ сигналов 70 форматов модулированных сигналов с помощью встроенной программы векторного анализа сигналов VSA 89601B.
- Одноклавишные измерения мощности с помощью программы Keysight PowerSuite в стандартной комплектации.
- Соответствие стандарту LXI класс C, поддержка команд SCPI, IVI-COM.
- Интерфейсы USB 2.0, 1000 Base-T LAN, GPIB.
- Совместимость программных кодов с анализаторами сигналов серии ESA и анализаторами серии X.
- Единый пользовательский интерфейс для всех анализаторов сигналов серии X.
- Открытая ОС Windows XP.

Для примера на рис. 17 даны зависимости фазового шума в одной боковой полосе от частоты. Они демонстрируют малый уровень шума прибора.



Рис. 16. Анализатор сигналов Keysight N9000A CXA

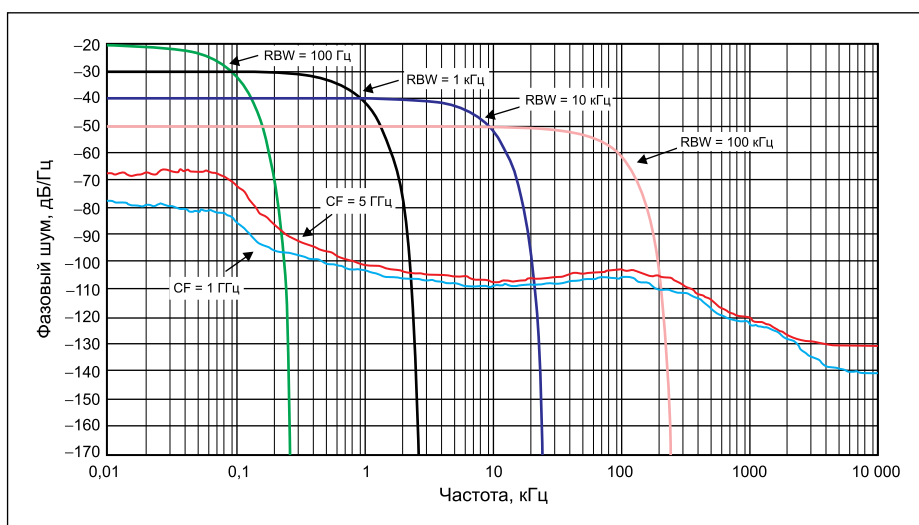


Рис. 17. Зависимость фазового шума на одной боковой полосе от частоты

Анализаторы сигналов MXA

В анализаторах серии MXA компании Keysight удалось устранить компромисс между скоростью измерений и высокими рабочими характеристиками [6, 7]. Приборы

часто применяются совместно с генераторами серии MXG (рис. 18).

Основные характеристики приборов:

- Скорость измерений на 30–300% выше, чем у других анализаторов.
- Полоса анализа/демодуляции 160 МГц.



Рис. 18. Измерительная система на основе анализатора сигналов серии MXA и генератора MXG

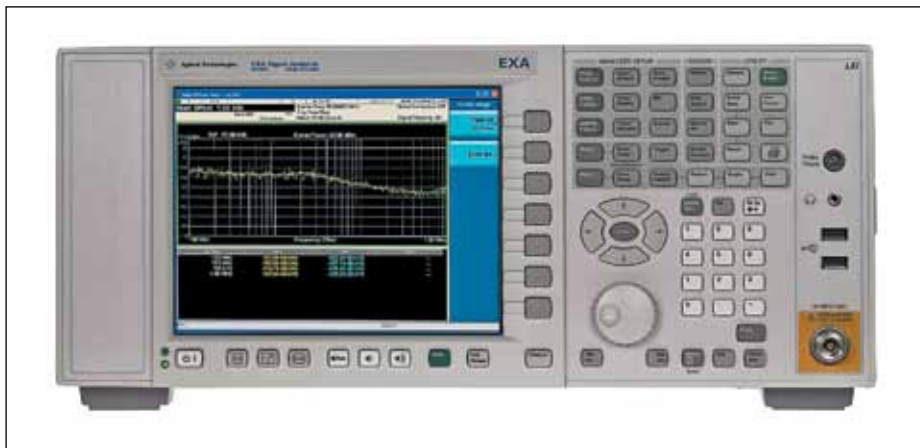


Рис. 19. Анализатор сигналов компании Keysight серии EXA N9010A

- Уровень точки пересечения третьего порядка (TOI) +19 дБм; средний уровень собственного шума (чувствительность) (-166 дБм/Гц со включенным предусилителем).
- Погрешность абсолютного измерения уровня 0,3 дБ.
- Динамический диапазон измерения относительной мощности утечки в соседнем канале (ACLR) системы W-CDMA 78 дБ.
- Анализ спектра, измерение параметров сигналов систем WiMAX, W-CDMA, HSDPA/HSUPA и фазового шума.
- Встроенное приложение векторного анализа сигналов 89601B.

Анализатор сигналов серии EXA

Анализаторы сигналов серии EXA (рис. 19) — умеренно дешевые приборы, обладающие беспрецедентным для приборов этого класса быстродействием, точностью и широчайшим набором прикладных измерений и программ [8].

Для анализатора Keysight EXA это стало возможным благодаря исключению компромисса между быстродействием и ценой. Кроме того, превосходная точность анализатора EXA позволяет ускорить переход от разработки к производству и способствует уменьшению общей стоимости испытаний. Когда требуется высокое быстродействие без какого-либо компромисса, следует иметь в виду, что анализатор EXA позволяет учитывать каждую миллисекунду.

Ключевые возможности приборов:

- Диапазон частот: от 10 Гц до 3,6; 7; 13,6; 26,5; 32 или 44 ГГц; внутренний предусилитель до 44 ГГц (опция).
- Полоса демодуляции 25 МГц (стандартная комплектация) или 40 МГц.
- Возможность расширения частотного диапазона до 325 ГГц и выше при использовании внешних смесителей.
- Расширение диапазона частот до 110 ГГц с помощью интеллектуальных смесителей на гармониках компании Keysight (только

для анализаторов, оснащенных опциями 532, 544 или EXM).

Основные технические характеристики:

- Абсолютная погрешность измерения уровня: $\pm 0,27$ дБ.
 - Уровень точки пересечения третьего порядка (TOI): +18 дБм.
 - Средний уровень собственного шума (DANL) с включенным предусилителем: менее -163 дБм (на частоте 2 ГГц); -153 дБм (на частоте 44 ГГц).
 - Динамический диапазон измерения относительной мощности в соседнем канале (ACLR) системы W-CDMA (с опцией коррекции шума): -73 дБ.
- Измерительные приложения и программное обеспечение:

- Поддержка более 25 измерительных приложений, включая приложения для беспроводных коммуникаций, цифрового видео, а также для задач общего назначения.
- Расширенный анализ сигналов 70 форматов с помощью встроенной программы векторного анализа сигналов VSA 89600B.
- Одноклавишные измерения мощности с помощью программы Keysight PowerSuite в стандартной комплектации.
- Соответствие стандарту LXI класс C, поддержка команд SCPI, IVI-COM.
- Интерфейсы USB 2.0, 1000 Base-T LAN, GPIB.
- Совместимость программных кодов с анализаторами сигналов серии PSA, 8566/68, 856х.
- Единый пользовательский интерфейс для всех анализаторов сигналов серии X/Открытая ОС Windows 7.

Программное обеспечение анализаторов сигналов класса C

Описанные выше анализаторы сигналов класса C могут работать с обширным программным обеспечением, устанавливаемым прямо на их жесткие диски. Заметна тенденция использовать лучшие из таких программ в составе базового программного обеспечения анализаторов сигналов, в том числе се-

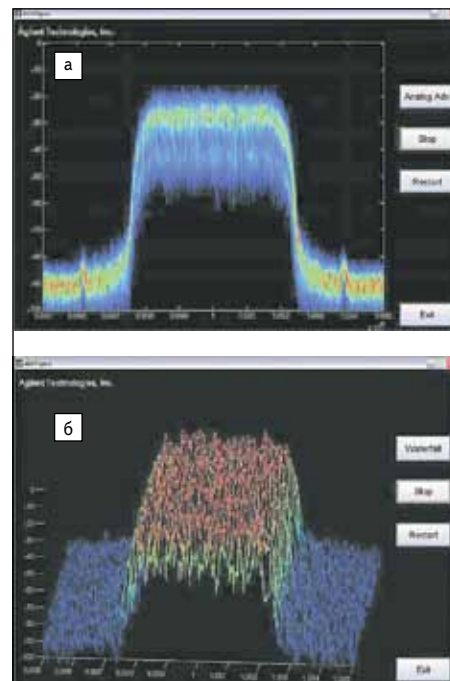


Рис. 20. Представление сигналов:

- а) с использованием технологии аналогового послесвечения;
б) с применением интегрированной матричной системы MATLAB

рий PXA, MXA, CXA и EXA. Например, одна из таких опций обеспечивает возможность представления сигналов с использованием технологии аналогового послесвечения (рис. 20а).

Почти все приборы имеют опции работы с матричной системой компьютерной математики MATLAB, обладающей просто фантастическими возможностями по обработке и представлению сигналов [13]. Пример такого трехмерного представления сигнала дан на рис. 20б. MATLAB имеет средства для вейвлет-анализа сигналов, которые пока не вошли в арсенал штатных средств анализаторов сигналов.

Весьма обширными возможностями обладает программа компании Keysight 89600 для проведения векторного спектрального анализа [9]. Она имеет простой и удобный многооконный интерфейс пользователя. По любому разделу программы можно мгновенно получить справку (рис. 21а).

На одном экране программы можно вывести несколько окон с самыми разнообразными диаграммами и таблицами (рис. 21б).

Рис. 21в показывает разнообразие типов данных, с которыми работает программа. Помимо диаграмм, на экран выводятся таблицы данных и результатов автоматических измерений и вычислений.

Программа имеет режим реального времени с построением спектрограммы имитации спектров с цветной цифровой имитацией аналогового послесвечения (рис. 22). Эта возможность характерна для анализаторов спектра реального времени.

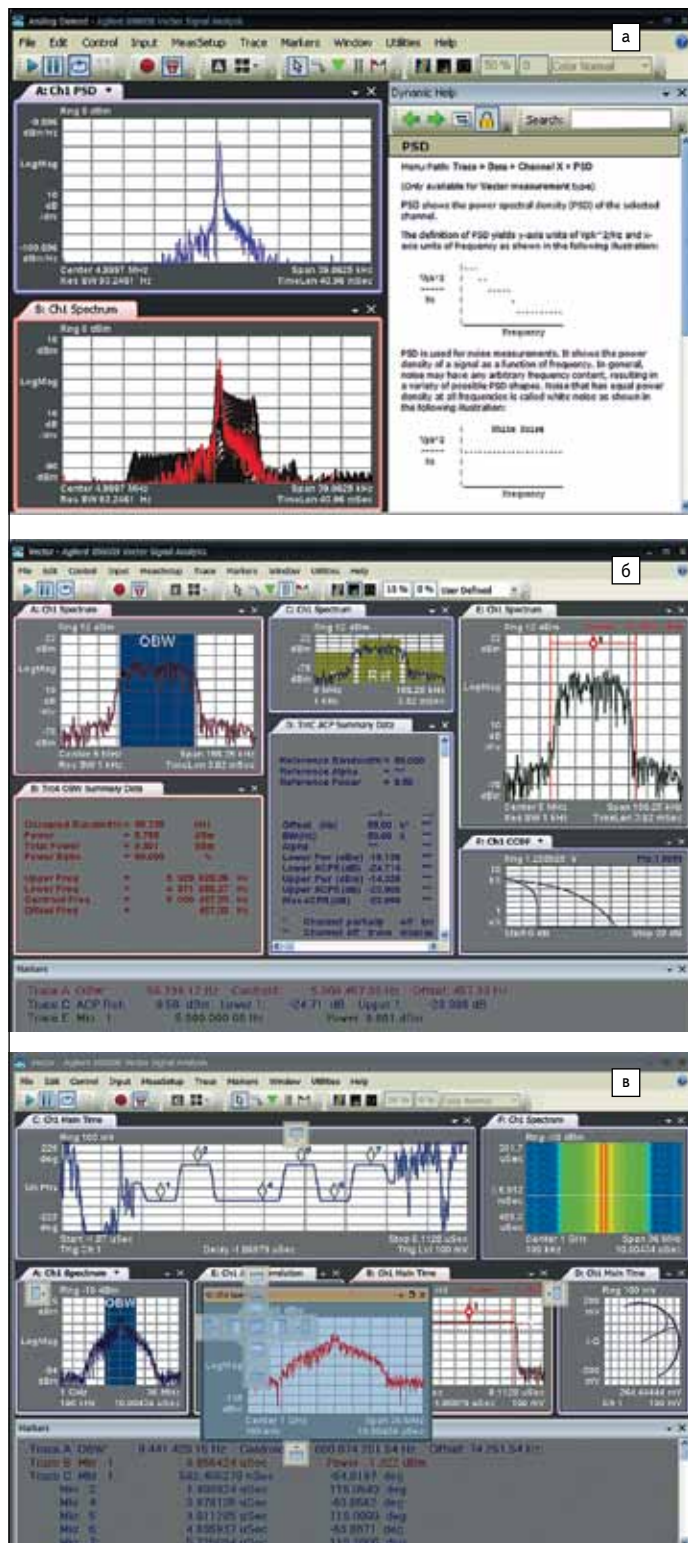


Рис. 21. Экран при работе с программой векторного анализа 89600: а) при работе с динамической справкой; б) с различными типами диаграмм и таблиц; в) с данными различного типа и таблицей результатов автоматических вычислений

ПО N9077A компании Keysight позволяет инженерам ускорить проверку схем и измерение характеристик компонентов и устройств WLAN 802.11ac в процессе их разработки и серийного производства. Новейшая технология WLAN 802.11ac основана на стандарте 802.11n. Ее отличает более широкая полоса ВЧ-сигнала (до 160 МГц), поддержка MIMO и модуляция более высокого порядка (256-QAM), пропускная способность в 1 Гбит/с на частоте менее 6 ГГц для нескольких станций.

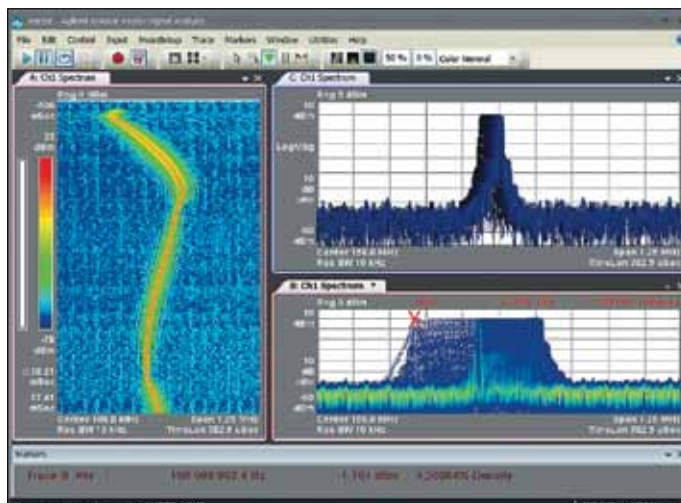


Рис. 22. Экран со спектрограммой сигнала с меняющейся частотой и спектром с цифровой имитацией послесвечения

Помимо поддержки 802.11a/b/g/n, измерительное приложение N9077A WLAN теперь предлагает однокнопочную функцию тестирования 802.11ac, реализуемую новой опцией (4FP), которая позволяет проверять схемы на ранних этапах разработки. В совокупности с самым производительным анализатором PXA компании Keysight, обладающим полосой анализа 160 МГц (опция B1X), N9077A с опцией 4FP способен измерять полный диапазон сигналов WLAN 802.11ac от 20 до 160 МГц.

Измерительные функции нового приложения включают ошибку сигнального несвязия передатчика (EVM), маску излучаемого спектра (SEM), равномерность спектра и комплементарную интегральную функцию распределения — и все это со встроенными индикаторами «годен/не годен» согласно стандартам IEEE.

Измерительное ПО N9077A WLAN является частью обширной библиотеки, включающей более 25 измерительных приложений для анализаторов сигналов серии Keysight X. Анализаторы сигналов серии X используют эволюционный подход к анализу сигналов, объединяющий приборы, измерения и программное обеспечение. Данные анализаторы образуют согласованную систему анализа сигналов и предлагают гибкость, отвечающую коммерческим и техническим требованиям множества изделий и программ.

Приемник MXE для измерения ЭМП

Для измерения и тестирования систем на электромагнитную совместимость выпускается специальный анализатор N9038A серии MXE [10] (рис. 23).

Ключевые возможности аппарата:

- Диапазон частот: от 20 Гц до 8,4, 26,5 или 44 ГГц.
- Полоса пропускания по уровню 3 дБ (стандарт) или 6 дБ (в соответствии с требованиями CISPR и MIL-STD).



Рис. 23. Измерительный приемник — анализатор сигналов серии MXE

- Типы детекторов: пикового, квазипикового, среднего и средне-квадратического значений.
- Расширенные средства диагностики. Основные технические характеристики:
- Соответствие требованиям стандартов CISPR 16-1-1 2010 и MIL-STD-461F.
- Абсолютная погрешность измерения уровня: $\pm 0,5$ дБ.
- Средний уровень собственного шума (DANL): -170 дБм (с предусилителем и функцией компенсации собственных шумов).
- Фазовый шум: -106 дБн/Гц, с отстройкой 10 кГц.

Прибор имеет следующие средства измерения ЭМП, диагностики и калибровки:

- Функциональные возможности по измерению ЭМП: детекторы реального времени, списки сигналов, таблицы сканирования, ограничительные линии и корректирующие коэффициенты.
- Возможности сканирования как во временной, так и в частотной области.
- Расширенные средства анализа: ленточная диаграмма, маркерные функции, масштабирование полосы обзора, обзор зоны и отображение спектрограмм.
- Калибровка в лаборатории, аккредитованной по стандарту ISO 17025 (по заказу).

Использование в автоматизированных измерительных системах обеспечено за счет:

- Соответствия классу С стандарта LXI, поддержки команд SCPI и драйверов IVI-COM.
- Наличия интерфейсов USB 2.0, LAN 1000Base-T, GPIB.
- Пользовательского интерфейса анализаторов сигналов серии X, открытой операционной системы Windows XP.

Прибор обеспечивает сокращение времени тестирования при работе в автономном режиме, в лаборатории или в составе системы на испытательном стенде.

Векторный анализатор сигналов в формате PXI

M9391A — это блочный векторный анализатор сигналов в формате PXI, предназна-

ченный для монтажа в стандартную измерительную стойку [11, 12] (рис. 24).

Векторный анализатор сигналов в формате PXIe Keysight M9391A состоит из четырех отдельных модулей: генератора опорной частоты M9300A, синтезатора M9301A, дигитайзера M9214A и преобразователя с понижением частоты M9350A. Он может использоваться совместно с векторным генератором сигналов M9381A, что позволяет получить компактное быстродействующее решение для тестирования ВЧ-компонентов.

Основные характеристики прибора:

- Диапазон частот: от 1 МГц до 3 или 6 ГГц.
- Полоса демодуляции 40 МГц (стандартная комплектация), 100 или 160 МГц (опция).
- Возможность модернизации аппаратной части с помощью программного лицензионного ключа.
- Абсолютная погрешность измерения амплитуды: $\pm 0,45$ дБ.
- Средний уровень собственного шума (DANL): -157 дБм.
- Динамический диапазон измерения от носительной мощности в соседнем канале (ACLR) для сигнала W-CDMA: $-70,7$ дБ.
- Уровень фазовых шумов: -119 дБн/Гц на частоте 1 ГГц при отстройке 10 кГц.



Рис. 24. Блоки векторного анализатора M9391A

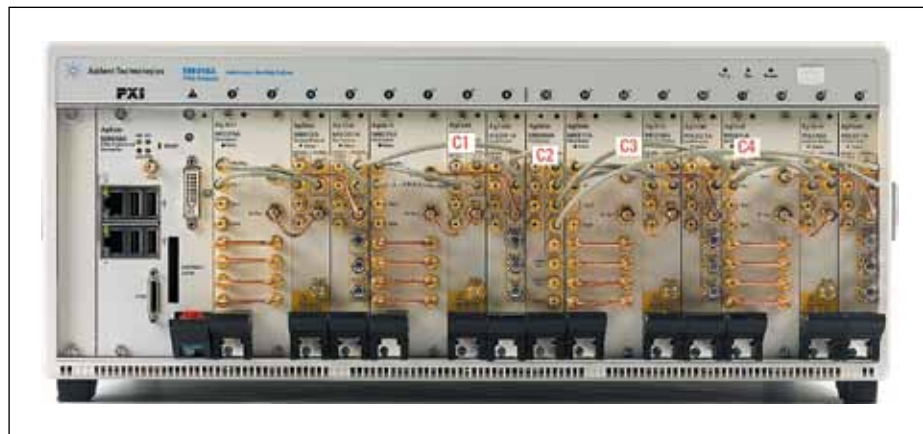


Рис. 25. Шасси PXIe M9018A с четырьмя векторными генераторами M9381A

Высокая скорость измерений обеспечивается за счет:

- Сокращения времени тестирования ВЧ-компонентов при оптимальном сочетании высокой скорости измерений с высокой линейностью, стабильностью и малой абсолютной погрешностью измерения амплитуды.
- Встроенных возможностей аппаратного ускорения измерений мощности, спектра и параметров IQ-сигналов.
- Измерительные приложения серии X для модульных приборов включают программу управления ресурсами (Resource Manager Software), которое позволяет быстро переключаться между аппаратными командами и стандартизованными измерениями. Измерительные приложения и программное обеспечение:

- Поддержка измерительных приложений серии X для модульных приборов, включая приложения для сотовой связи (GSM/EDGE/Evo, cdma2000/cdmaOne, W-CDMA/HSPA+, 1xEV-DO, TD-SCDMA/HSDPA, LTE FDD, LTE TDD) и беспроводных коммуникаций (WLAN 802.11a/b/g/n/ac Bluetooth).
- Расширенный анализ сигналов более чем 75 форматов с помощью программы векторного анализа сигналов VSA 89600.
- Программное обеспечение SystemVue для ускорения процесса разработки изделий и MATLAB для решения широкого круга задач по анализу данных, визуализации и автоматизации измерений.
- Драйверы и документация для программных платформ Microsoft C/C++, C#, Visual Basic, MATLAB, VEE, LabVIEW и LabWindows/CVI.

Быстродействующая аппаратная платформа анализатора и разнообразные измерительные приложения серии X для модульных приборов (рис. 25) дают возможность быстро получать надежные достоверные результаты.

Keysight выпускает модульные векторные анализаторы сигналов с диапазоном частот от 50 МГц до $26,5$ ГГц и полосой демодуляции до 250 МГц. Возможна интеграция с программой векторного анализа сигналов Keysight 89600 VSA. Сокращение времени разработки достигается за счет включения в комплект поставки драйверов, виртуальных передних панелей и примеров программирования в средах Visual Studio (VB, NET, C#, C/C++), VEE, LabVIEW, LabWindows/CVI и MATLAB.

Анализатор аудиосигналов Keysight U8903A

Новый аудиоанализатор Keysight U8903A является заменой широко используемого аудиоанализатора HP 8903B. Аудиоанализатор U8903A (рис. 26) сочетает функциональные возможности измерителя искажений, измерителя отношения сигнала к сумме шума и искажений (SINAD), частотомера, вольтметра

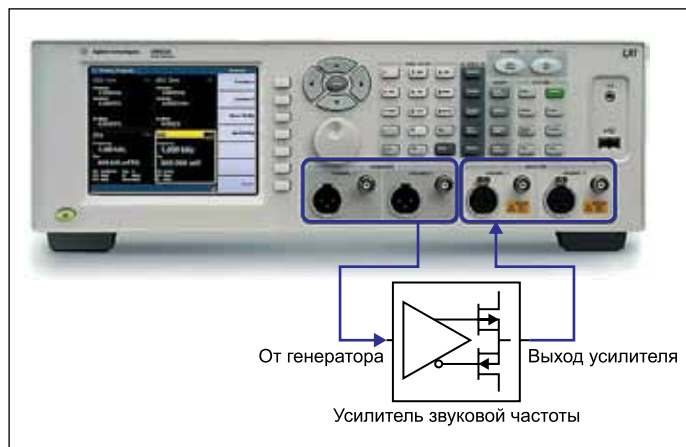


Рис. 26. Аудиоанализатор U8903A и подключение к нему тестируемого усилителя

постоянного и переменного тока, анализатора спектра на основе БПФ и источника звуковых сигналов с низким уровнем искажений.

Основные технические характеристики:

- Погрешность частоты в режиме генератора и анализатора: 5×10^{-6} (5 ppm).
- Погрешность амплитуды в режиме генератора и анализатора: $\pm 1\%$.
- Величина остаточных искажений и шума в режиме анализатора: -101 дБ (в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц).
- Неравномерность уровня сигнала: $\pm 0,01$ дБ.
- Совместимость по кодам с анализатором HP8903B.
- Анализ цифровых аудиосигналов (с опциями 113/4/5).
- Интерфейсы S/PDIF/AES3 и цифровой последовательный интерфейс (Digital Serial Interface, DSI).
- Различные форматы DSI: FS, Left Justified, Right Justified, DSP.
- Уровни логических входных сигналов: от 1,2 до 3,3 В.
- Разрядность звуковых сигналов: от 8 до 24 бит.

Звуковая интерфейсная плата анализатора U8903A включает интерфейсы S/PDIF/AES3 и цифровой последовательный интерфейс, что позволяет использовать прибор при разработке аналоговых и цифровых микросхем, модулей, беспроводных аудиоустройств и бытовой электроники. При этом анализатор строит характеристики в привычном для работающих с такими системами формате (рис. 27).

Заключение

Сложные измерительные приборы часто имеют свои прототипы. Например, многофункциональные калибраторы развились от цифровых мультиметров, анализаторы логических сигналов появились от цифровых осциллографов, а анализаторы спектра — от осциллографов с БПФ и избирательных приемников. И вот развитие анализаторов спектра привело к появлению новых анализаторов сигнала,

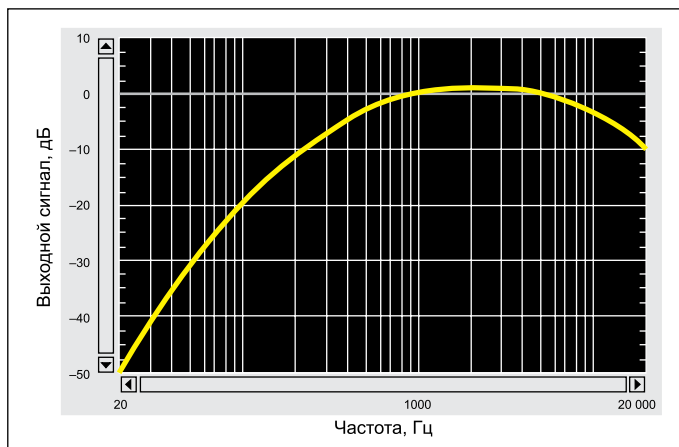


Рис. 27. Построение логарифмической АЧХ усилителя мощности низких частот

работающих не только в частотной, но и во временной области. Обширную номенклатуру этих новых приборов выпускает компания Keysight Technologies, чьи высокие технические характеристики востребованы при исследовании, разработке и тестировании электронных устройств, систем, компонентов и технологий.

Литература

1. Дьяконов В. П. Сверхскоростная твердотельная электроника. В 2 томах. М.: ДМК-Пресс. 2013.
2. Agilent Spectrum Analyzer and Signal Analyzer. Selection Guide. Agilent Technologies, Inc. 2013.
3. Agilent N9322 C. Basic Spectrum Analyzer. September 26, 2013.
4. Кривов А. Анализатор сигналов Agilent PXA (N9030A). Управляйте эволюцией! // Компоненты и технологии. 2009. № 11.
5. N9000A CXA X-Series Signal Analyzer 9 kHz to 3.0 GHz or 7.5 GHz. Data Sheet.
6. Тако Х. Анализатор сигналов нового поколения Agilent MXA N9020A // Компоненты и технологии. 2008. № 3.
7. Agilent MXA Signal Analyzer Data Sheet (технические данные анализатора сигналов MXA), номер публикации 5898_4942EN.
8. Agilent EXA анализатор сигналов. N9010A от 9 кГц до 3,6, 7,0, 13,6 или 26,5 ГГц. 2009, номер публикации 5989-6527RU. N9030A PXA анализатор Agilent.
9. 89601B/BN-200 Basic Vector Signal Analysis, 89601B/BN-300 Hardware Connectivity, 89600B VSA Software. Technical Overview, 2011, номер публикации 5990-6405EN.
10. Agilent. 9038A MXE EMI Receiver. Configuration guide, 2011.
11. Agilent M9391A PXIe Vector Signal Analyzer 1 MHz to 3 GHz or 6 GHz. Data Sheet, 2013.
12. Agilent M9391A PXIe Vector Signal Analyzer 1 MHz to 3 GHz or 6 GHz. Configuration Guide, 2013.
13. Дьяконов В. П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. М.: ДМК-Пресс, 2011.