

АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА RIGOL СЕРИЙ RSA5000 И RSA3000

RIGOL RSA5000 AND RSA3000 SERIES SPECTRUM ANALYZERS

Гуськов А.А. (A. Guskov), сертифицированный специалист по продукции RIGOL

18 октября 2018 года компания Rigol Technologies отмечала свой 20-летний юбилей. На праздник, устроенный в честь 20-летия компании, было приглашено свыше 200 гостей и партнеров компании практически со всех уголков земного шара. Кроме официальных праздничных мероприятий, посвященных Дню Рождения компании, в демозале были представлены новинки Rigol в области измерительной техники (подробнее о 20-летию компании Rigol читайте в статье «Верность традициям и высокому качеству! Компания Rigol отметила 20-летний юбилей!» в журнале КИПиС № 6 2018 года).

То, что компания Rigol Technologies стала одной из ведущих компаний на этом рынке, признают уже, пожалуй, все производители измерительных приборов. Еще бы, ведь именно Rigol является единственной китайской компанией со своим собственным департаментом, занимающимся НИОКР. В настоящее время в активе Rigol Technologies более 380 патентов на изобретения!

Существенное обновление модельного ряда, основанное на внедрении инновационных технологий UltraVision в осциллографии и SiFi для генераторов сигналов в 2013-15 годах привело к узнаваемости и популярности бренда Rigol не только в России, но и во всем мире. Казалось, что эти современные и высокопроизводительные приборы уже сделали достаточный задел для Rigol и таких резких изменений модельного ряда, как это было в 2013-15 годах, в ближайшее время больше не будет, и компания планирует развивать свой модельный ряд не спеша. Однако 2017 и 2018 годы положили конец надеждам конкурентов.

Именно в это время инженеры Rigol разработали и успешно воплотили в жизнь новейший процессор «Phoenix» с высокоскоростной обработкой и захватом данных при частоте дискретизации до 10 Гвыб/с. Применение этого про-



Рис. 1. Процессор «Phoenix»



цессора совместно с усовершенствованной технологией UltraVision II в уже выпущенных новейших сериях многофункциональных осциллографов MSO5000 и DS/MSO7000 позволило объединить в одном корпусе до семи измерительных приборов.

Не были обойдены вниманием и универсальные генераторы сигналов. На основе обновленной технологии поточечного воспроизведения SiFi II были созданы серии генераторов сигналов экономного класса DG800 и DG900. В настоящее время с функциональными возможностями, которые предоставляют эти приборы (в данном классе), не может сравниться ни один производитель в мире.



Рис. 2. Анализатор спектра Rigol DSA832E

Наконец, новым направлением измерительной техники для Rigol стал выпуск двух серий анализаторов спектра реального времени. Первой (в конце 2017 года) была выпущена серия RSA5000, а в середине 2018 года — серия RSA3000. Производителей анализаторов спектра реального времени во всем мире можно пересчитать по пальцам, если не одной, то двух рук. И вход в этот «элитный» клуб еще больше увеличил престиж компании Rigol Technologies.

Кстати, увидеть все вышеуказанные приборы, да и не только их, можно было на описанном ранее праздновании 20-летия Rigol. Интересный факт, но именно анализаторы спектра реального времени стали теми приборами, в которых компания Rigol впервые применила сенсорный мультитач дисплей. Применение сенсорного дисплея стало стандартом как для новых серий осциллографов, так и для генераторов сигналов.

Вообще тема анализаторов спектра

Rigol уже несколько раз поднималась в нашем журнале. Первый раз полноценно тема была поднята в № 6 за 2015 год в статье «Современные анализаторы спектра Rigol». На тот момент в ассортименте анализаторов спектра Rigol было 3 базовые модели: DSA815 с частотным диапазоном 9 кГц...1,5 ГГц, DSA832 (до 3,2 ГГц) и DSA875 (до 7,5 ГГц). Каждая из этих моделей могла быть поставлена совместно с опцией следающего генератора (трекинг-генератора).



Рис. 3. Анализатор спектра Rigol серии RSA5000



Рис. 4. Анализатор спектра Rigol серии RSA3000

Следуя неписанной для компании RIGOL Technologies, Inc. традиции, расширение модельного ряда для анализаторов спектра Rigol пошло от «старших» приборов к «младшим». Сначала Rigol выпускает более функциональные и производительные приборы, а затем на их базе выпускаются приборы с более упрощенными параметрами. Так было, когда на базе модели DSA832E была выпущена DSA815 — серия DSA700, состоящая из двух моделей: DSA710 и DSA705.

Так же получилось и сейчас с анализаторами спектра реального времени: сначала выпустили более «продвинутой» серию приборов RSA5000, а через полгода — серию RSA3000 с упрощенными техническими характеристиками.

Кстати, в анализаторах спектра реального времени RSA5000 впервые у Rigol для приборов был использован корпус черного цвета. И хотя и по внешнему виду и по органам управления серии RSA5000 и RSA3000 очень похожи, их теперь легко различить по цвету. Аналогичным образом легко различить по цвету новые серии генераторов сигналов DG800 и DG900, а также серии осциллографов DS/MSO7000 и MSO5000, но об этих приборах мы расскажем в наших следующих обзорах.

Чем же был обусловлен выпуск компанией Rigol Technologies анализаторов спектра реального времени?



Рис. 5. Разъемы USB на передней панели прибора

Телекоммуникационные технологии непрерывно развиваются и на рынке появляются все новые, более совершенные, стандарты беспроводной передачи данных. Их непрерывное совершенствование требует применения и более совершенных устройств для анализа радиочастотного спектра, т.к. обычные анализаторы спектра свипирующего (сканирующего) типа уже не подходят для решения целого комплекса задач. Сигналы становятся все более сложными со скачкообразными переходами с одной частоты на другую, плотность спектрального потока — все более загруженной, электромагнитная окружающая обстановка все более ухудшается и вероятность пропуска или неправильного анализа этих сигналов выглядит вполне реальной. Именно для решения этих и ряда других проблем идеальным решением стали анализаторы спектра реального времени. Инженеры и маркетологи компании Rigol Technologies это прекрасно понимают, но понимали они и то, что не всем пользователям необходимо, например, измерять спектральную плотность или проводить запуск по частотной маске. Многим пользователям привычнее наблюдать частотный спектр в классическом виде, да и не все измерительные режимы, которые



Рис. 6. Управление жестами



Рис. 7. Пользовательский интерфейс

есть в классическом спектроанализаторе, реализованы в анализаторах спектра реального времени. Поэтому, как приборы серии RSA5000, так и приборы серии RSA3000 (далее RSA5000/3000) совмещают в себе как классический анализатор спектра (режим GPSA), так и анализатор спектра реального времени (режим RTSA). В первом случае анализатор GPSA адаптирует два метода анализа: через сканирование и БПФ. При этом, GPSA может не только выполнять анализ в частотной области, но и анализировать во временной области (нулевая полоса обзора). Во втором случае анализатор RTSA обеспечивает функцию анализа спектра сигнала в реальном времени на основе оконных фильтров БПФ с заданной полосой, при котором производится захват сложных сигналов без пропусков и разрывов.

Аналогично анализаторам спектра серий DSA800 и DSA700 в приборах серий RSA5000 и RSA3000 управлять анализаторами и вводить необходимые значения параметров можно с органов управления, расположенных на передней панели, например, с цифровой клавиатуры, при помощи поворотной ручки или навигационных кнопок-стрелок. Кроме того, в RSA5000/3000 параметры

можно задавать с помощью сенсорного экрана, а также внешней клавиатуры или мыши, которые могут быть подключены к разъемам USB, расположенным на передней панели анализатора.

При этом сенсорный дисплей поддерживает как управление касанием (по одной точке), например при выборе элементов функционального меню, так и управление жестами, например, если необходимо изменить полосу обзора или масштаб, сдвинуть кривую спектра, изменить положение опорного уровня и т.п.

Пользовательский интерфейс также претерпел определенные изменения по сравнению с сериями DSA.

Прежде всего, он стал гораздо более информативным. Статусы режимов и настроек перенесены в верхнюю часть окна интерфейса, а кроме того появилось дополнительное поле идентификатора трассы (рис. 8).



Рис. 8. Поле идентификатора трассы

В первой строке отображается номер трассы, при этом цвет номера соответствует цвету самой трассы.

Во второй строке отображается тип трассы, например W (очищенная трасса), A (усредненная трасса), M (удержание максимума) и m (удержание минимума). Цвет букв и их подчеркивание также несет смысловую нагрузку: синий цвет означает, что трасса обновляется; серый — трасса не обновляется; серая зачеркнутая буква указывает на то, что трасса не будет обновляться и отображаться; синяя зачеркнутая буква указывает на то, что трасса

Таблица 1

| Параметр / Серия | RSA3000 | RSA5000 |
|---|--|--|
| Диапазон частот | 9 кГц...3,0 ГГц (RSA3030, RSA3030-TG) 9 кГц...4,5 ГГц (RSA3045, RSA3045-TG) | 9 кГц...3,2 ГГц (RSA5032, RSA5032-TG) 9 кГц...6,5 ГГц (RSA5065, RSA5065-TG) |
| Погрешность опорного генератора | 1 ppm (опция: 0,1 ppm) | |
| Режим свипирующего анализатора GPSA | | |
| Фазовый шум (отстройка 10 кГц) | -102 дБн/Гц | -108 дБн /Гц |
| Полоса RBW | 10 Гц...3 МГц 1 Гц...10 МГц (опция) | 1 Гц...10 МГц |
| Полоса видео | 1 Гц...10 МГц | 1 Гц...10 МГц |
| ЭМИ фильтры | опция: 200 Гц, 9 кГц, 120 кГц, 1 МГц | штатно: 200 Гц, 9 кГц, 120 кГц, 1 МГц |
| DANL | без п/у: -141 дБм с п/у (опция): -161 дБм | без п/у: -145 дБм с п/у (опция): -165 дБм |
| Частотный отклик | 0,5 дБ | 0,3 дБ |
| Трекинг-генератор | для моделей с индексом «-TG»; диапазон частот: 100 кГц...макс. полоса анализатора | |
| Режим анализатора реального времени RTSA | | |
| Полоса анализа в реальном времени | штатно: 10 МГц опция: 25 МГц, 40 МГц | штатно: 25 МГц опция: 40 МГц |
| Мин. длительность гарантир. захвата | штатно 9,3 мкс опция 7,82 мкс; 7,45 мкс | 7,45 мкс |
| Скорость БПФ | 146484 FFT/c | |
| Визуализация | 7 режимов: Normal (Обычный спектр), Density (Спектральная плотность), Spectrogram (Спектрограмма), Power versus Time PVT (Распределение мощности во времени), PVT & Normal, PVT & Spectrogram, Density & Spectrogram | |
| Общие характеристики | | |
| Интерфейсы | USB-host (4 шт), USB-device, LAN, HDMI | |
| Дисплей | 10,1", емкостной мультитач, 1024×600 | |
| Габаритные размеры | 410×224×135 мм | |

обновляется, но не отображается (например, в математических операциях).

В третьей строке отображается тип детектора каждой трассы.

Кроме того, видно, что вместо четырех трасс (как было в анализаторах DSA) в новых приборах можно сохранять до 6 трасс.

Вообще типы детектирования для режима свипирующего анализатора GPSA и анализатора спектра реального времени RTSA различаются.

Для анализатора GPSA доступны следующие виды детекторов: обычный, выборка, положительный пиковый (обозначен на рисунке 8 буквой P), отрицательный пиковый, среднеквадратический, среднее напряжение, квазипиковый.



Рис. 9. Измерение обратных потерь, коэффициента отражения и коэффициента стоячей волны по напряжению

Для анализатора RTSA типов детектора четыре: выборка, положительный пиковый, отрицательный пиковый, среднее.

Следует отметить, что по функциональным возможностям серии анализаторов спектра RSA5000 и RSA3000 практически не отличаются друг от друга. Основные отличия заключаются именно в значениях того или иного параметра. Обе серии представлены двумя базовыми моделями и двумя моделями с трекинг-генера-



Рис. 10. Измерение мощности во временном интервале

тором, который устанавливается на заводе-изготовителе и отдельно не приобретается. Т.к. серия RSA5000 считается «старшей» по отношению к RSA3000, то и ее характеристики должны быть лучше. Это наглядно продемонстрировано в таблице 1.

В режимах свипирующего анализатора спектра GPSA функциональность серий RSA не отличается от анализаторов спектра серии DSA800. Аналогично серии DSA, как видно из таблицы 1, и в серии RSA5000 и в серии RSA3000 доступны модели со встроенным трекинг-генератором.

Эта опция превращает анализатор спектра в анализатор скалярного типа. Используя анализатор спектра с опцией трекинг-генератора, можно измерять амплитудные характеристики материалов и оборудования, частотные характеристики, коэффициенты потерь и отражения, АЧХ и т.д. Используя дополнительные аксессуары, можно вычислять коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) и ряд других S11 параметров. Например, при использовании КСВН-мостов на соответствующий диапазон частот, которые Rigol также предоставляет, анализаторы спектра RSA могут измерять такие параметры, как

обратные потери (Return loss), коэффициент отражения (Reflection coefficient) и коэффициент стоячей волны по напряжению — КСВН (VSWR).

Естественно все стандартные функции, такие как маркерные измерения, поиск и измерения пиков с подготовкой таблицы пиков и ряд других операций, что в анализаторах DSA, что в анализаторах RSA5000/3000 в режиме GPSA, используются и отображаются одинаково. Поэтому в данном обзоре на них останавливаться не будем.



Рис. 11. Измерение мощности в смежных каналах

Единственное, что хотелось бы отметить, для анализаторов спектра серии DSA800 с апреля 2017 года предварительный усилитель входит в штатную комплектацию. А в анализаторах RSA5000/3000 данная функция является опцией, т.е. поставляется за дополнительную плату.

В журнале КИПИС 2015 № 6 и КИПИС 2017 № 4 подробно рассматривались стандартные измерительные функции серий DSA700 и DSA800, которые аналогичны работе в режиме GPSA для серий RSA. Также подробно рассматривалась опция расширенных измерений DSA800-AMK. Для анализаторов спектра RSA5000/3000 также есть такая опция, и она существенно расширяет измерительные возможности данных приборов в режиме свипирующего анализатора GPSA, и называется она RSA5000-AMK.



Рис. 12. Измерение мощности в нескольких каналах

Стоит повторить, какие дополнительные типы измерений входят в этот расширенный набор.

Измерение мощности во временном интервале (T-Power). При нулевой полосе обзора, пользователь может задать временной диапазон и количество проходов для усреднения и в результате получить измеренное значение мощности (пиковое, среднее или среднеквадратичное) (рис. 10).

Коэффициент стоячей волны по напряжению — это отношение наибольшего вдоль линии значения амплитуды напряжения к наименьшему.

Коэффициент стоячей волны по напряжению вычисляется по формуле $KCVN = (U_1 + U_2) / (U_1 - U_2)$, где U_1 и U_2 — амплитуды падающей и отражённой волн соответственно. В идеальном случае $KCVN = 1$, это означает, что отражённая волна отсутствует. При появлении отражённой волны $KCVN$ возрастает в прямой зависимости от степени рассогласования тракта и нагрузки. Допустимые значения $KCVN$ на рабочей частоте или в полосе частот для различных устройств регламентируются в технических условиях и ГОСТах. Обычно приемлемые значения коэффициента лежат в пределах от 1,1 до 2,0.

Измеряют $KCVN$, например, с помощью включённых в тракт в противоположном направлении двух направленных ответвителей. В космической технике $KCVN$ измеряется встроенными в волноводные тракты датчиками КСВ. Современные анализаторы цепей также имеют встроенные датчики $KCVN$.

При проведении измерений $KCVN$ необходимо учитывать, что затухание сигнала в кабеле приводит к погрешности измерений. Это объясняется тем, что как падающая, так и отражённая волны испытывают затухание. В таких случаях $KCVN$ рассчитывается по формуле $KCVN = (U_1 + K \cdot U_2) / (U_1 - K \cdot U_2)$, где K — коэффициент ослабления отражённой волны, который вычисляется следующим образом: $K = 2BL$, здесь B — удельное затухание, дБ/м; L — длина кабеля, м; а множитель 2 учитывает тот факт, что сигнал испытывает ослабление при передаче от источника СВЧ сигнала к антенне и на обратном пути.

Энциклопедия измерений, www.kipis.ru

Измерение мощности в смежных каналах (АСР). Задавая полосу основного и смежных каналов, а также смещение между каналами, пользователь получает в результате измеренную мощность в основном и соседних каналах, а также разность мощностей основного и смежных каналов (рис. 11).



Рис. 13. Измерение занимаемой полосы

Измерение мощности в нескольких каналах (Multichan Pwr). Задавая основные частоты и ширину полосы для нескольких каналов, пользователь получает измеренное значение мощности внутри канала и спектральной плотности мощности, нормализованной до 1 Гц в пределах полосы обзора (рис. 12).



Рис. 14. Измерение ширины полосы передачи

Измерение занимаемой полосы (Occupied BW). В результате использования данной измерительной функции пользователь имеет возможность получить вычисление двух параметров (рис. 13): занимаемой полосы OBW (диапазон частот, который соответствует заданному коэффициенту мощности внутри всей ширины полосы обзора при вычислении в ней интегральной мощности) и разницу между центральной частотой канала и центральной частотой анализатора спектра (Transmit Frequency Error).



Рис. 15. Измерение отношения сигнал/шум

| Оконная функция | Утечка спектра | Точность по амплитуде | Разрешение по частоте |
|-----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Gaussian | Средне | Хорошо | Средне |
| Flattop | Хорошо | Отлично | Плохо |
| Blackman-Harris | Отлично | Хорошо | Средне |
| Rectangular | Плохо | Плохо | Отлично |
| Hanning | Хорошо | Средне | Хорошо |
| Kaiser | Хорошо | Хорошо | Средне |

Измерение ширины полосы передачи (Emission BW). Во время измерения анализатор сначала определяет частоту (f0) точки с максимальной амплитудой в пределах полосы обзора, а затем, начиная с f0, поочередно ищет справа и слева точки с частотой f1 и f2, на которых амплитуда на X дБ ниже максимальной амплитуды. Ширина полосы передачи EBW определяется как разница f2-f1 (рис. 14).



Рис. 16. Измерение гармонических искажений

Измерение отношения сигнал/шум (C/N Ratio). В процессе данного типа измерения анализатор выводит на экран значение мощности несущей Carrier Power в заданной полосе, мощность шума Noise Power в заданной полосе, а затем вычисляет и отображает их отношение C/N Ratio (рис. 15).



Рис. 17. Измерение интермодуляционных искажений третьего порядка

Измерение гармонических искажений (Harmonic Distortion). При активации данной измерительной функции анализатор спектра выдает на экран амплитуду и частоту каждой гармоники до 10-го порядка включительно, а также отображает общий коэффициент гармонических искажений (рис. 16).

Измерение интермодуляционных искажений третьего порядка (TOI Distortion). Одной из довольно сложной измерительных задач является измерение интермодуляционных искажений, т.е. нелинейных искажений, которые могут сильно влиять на работу различных систем связи. При подаче на вход

анализатора спектра двухтонального сигнала одинаковой амплитуды и близкими частотами возникают искажения в виде комбинационных составляющих, вызванных сложением и вычитанием основных и гармонических частот входного сигнала. Значения этих частот, а также точки пересечения третьего порядка (TOI) и отображаются в окне измерений при реализации данной измерительной функции (рис. 17).

Теперь перейдем к той части анализаторов спектра Rigol серий RSA5000 и RSA3000, которая отличает эти приборы от классических анализаторов спектра серий DSA. Таким отличием, естественно, является работа прибора в реальном времени (режим RTSA) в основе которой лежит запатентованная Rigol Technologies инновационная технология Ultra Real.



Рис. 18. Выбор варианта визуализации

Анализатор спектра в реальном времени (RTSA) содержит цифровой узел ПЧ, обладающий широкими возможностями по обработке полученной информации. В режиме реального времени все выборки сигналов обрабатываются для получения результатов измерений (обычно мощность и амплитуда) или запуска синхронизации.

(Продолжение следует)

Engineers integrating WiFi, Bluetooth and other modern RF technologies are confronted with complex challenges like frequency hopping signals, channel conflict, and spectrum interference. Real-Time Spectrum Analyzers bring the dimension of time to RF Analysis making it easier to monitor and characterize these complex RF systems. Recently Rigol Technologies has released two new series of spectrum analyzers, RSA5000 (the end of 2017) and RSA3000 (2018), which combine industry leading real-time performance (7.45 μs 100% POI), rich data displays, and advanced triggering options allowing the user to quickly capture, identify and analyze these complex events.

АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА RIGOL СЕРИЙ RSA5000 И RSA3000

RIGOL RSA5000 AND RSA3000 SERIES SPECTRUM ANALYZERS

Гуськов А.А. (A. Guskov), сертифицированный специалист по продукции RIGOL

(Окончание, начало см. № 2-2019)

Анализатор спектра в реальном времени имеет следующие особенности:

- сбор и анализ данных без пропуска информации;
- высокоскоростное измерение;
- синхронизация по частотной маске;
- отображение спектров в различном виде, в т.ч. комбинированное представление.



Рис. 19. Отображение обычного спектра

В общем случае высокоскоростной поток данных в режиме реального времени можно использовать следующими двумя способами: в качестве источника данных для отображения составного спектра или для сравнения с частотной маской с последующей синхронизацией по ней.

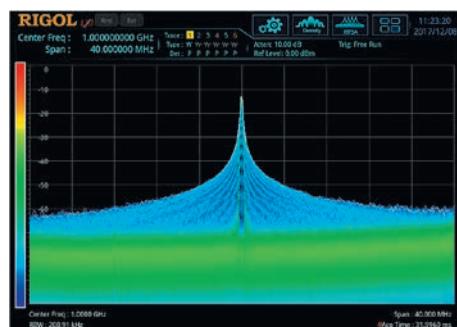


Рис. 20. Отображение спектральной плотности

Полоса обзора в режиме GPSA отличается от максимальной полосы пропускания в режиме анализатора реального времени (далее — полоса анализа). Для серии анализаторов RIGOL RSA3000 полоса анализа в штатной поставке составляет 10 МГц и опционально может быть увеличена до 25 МГц или 40 МГц. Для серии RSA5000 этот параметр составляет в стандартной поставке 25 МГц и опционально он может быть расширен до 40 МГц. При этом минимальная длительность гарантированного захвата сигнала составляет всего 7,45 мкс.

В режиме RTSA, в зависимости от

требованиям к измерениям, пользователю доступны для выбора шесть вариантов оконных функций: Gaussian, Flattop, Blackman-Harris, Rectangular, Hanning и Kaiser, что иллюстрирует таблица 2.

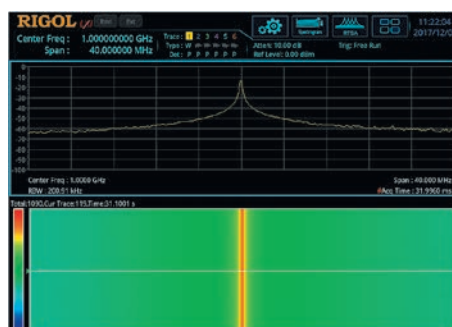


Рис. 21. Отображение спектрограммой



Рис. 22. Отображение распределения мощности во времени

Количество возможных типов детекторов в режимах GPSA и RTSA также отличается. В режиме GPSA, как уже упоминалось, доступны в стандартной комплектации шесть типов детекторов, в режиме RTSA — четыре типа детектора: положительный пиковый, отрицательный пиковый, детектор выборок и среднее детектирование.

Безусловно, в режиме реального времени легче гарантированно захватить и об-



Рис. 23. Отображение спектрограммы со спектральной плотностью

работать сложные сигналы, в т.ч. и те, которые в режиме свипирующего анализатора могут быть просто пропущены прибором. При этом, обе серии анализаторов RSA обладают таким удобным и полезным инструментом, как визуализация. Это делает анализаторы спектра RIGOL очень удобным и недорогим инструментом для отладки различных ВЧ схем.

Выбор варианта визуализации легко производится через экранное меню, которое появляется на экране по нажатию иконки в верхней части экрана. Как видно на рис. 18, при работе анализатора спектра RTSA всего доступно семь возможных вариантов визуализации, причем как простых, так и комбинированных, вплоть до отображения трех различных вариантов на одном экране.

Самым первым является вариант отображения обычного спектра Normal. Визуально он напоминает отображение в режиме анализатора GPSA, но, как уже упоминалось выше, полоса обзора в режиме GPSA и полоса анализа в режиме RTSA различаются. Отображение обычного спектра Normal происходит в однооконном варианте (рис. 19).



Рис. 24. Отображение распределения мощности во времени и обычного спектра

Следующий однооконный вариант — это отображение спектральной плотности Density. Она определяется количеством точек с разными амплитудами и частотами, попадающих в интервал сбора данных. Данный вариант отображения интересен тем, что фактически на двухмерном экране отображаются четырехмерные данные (рис. 20).

При таком отображении по оси X представлена частота; а по оси Y — амплитуда. Ось Z представляет количество попадающих в полосу анализа точек. Оно отображается цветом в соответствии с цветовой шкалой, представленной в левой части экрана. Для удобства представления пользователь может настроить свою собствен-

ную цветовую шкалу. И, наконец, осью Т является яркость, которая выражена временем послесвечения (персистенцией). Каждый сбор данных отображает спектральную плотность со своей яркостью. Каждое последующее отображение, накладываясь на предыдущее с большей яркостью. Таким образом, последнее отображение имеет максимальную яркость, а чем больше прошло времени от последнего отображения спектральной плотности, тем ниже яркость этого представления.

Следующим вариантом отображения является отображение спектрограммой (Spectrogram). По умолчанию такой вариант представлен в двухоконном виде. В верхнем окне отображается обычный спектр Normal, а в нижнем — собственно спектрограмма. Спектрограмма представлена диаграммой, где по горизонтальной оси представлена частота, по вертикальной оси — время, а цвет представляет амплитуду (рис. 21).



Рис. 25. Представление одновременно трех окон на одном экране

Т.к. по оси Y представлено время, то по умолчанию с каждым сбором данных отображение в спектрограмме сдвигается на одну позицию, таким образом, что последние трассы данных отображаются в верхней части окна. Всего спектрограмма может содержать до 8192 трасс. При полноэкранном варианте одновременно на экране могут отображаться до 486 трасс, при двухоконном — 230.

Одним из важнейших режимов отображения является распределение мощности во времени PwT (рис. 22).

Название говорит само за себя и из него следует, что при таком варианте визуализации по оси X отображается время сбора данных, а по оси Y — значение мощности сигнала.

Среди вариантов отображения могут быть и многооконные комбинированные. Например, отображение спектрограммы со спектральной плотностью Density Spectrogram (рис. 23) или отображение распределения мощности во времени PwT и обычного спектра Spectrum (рис. 24).

Более того, среди вариантов визуализации имеется даже представление одновременно трех окон на одном экране: распределения мощности во времени PwT, обычного спектра Spectrum и спектрограммы Spectrogram (рис. 25).

Во всех семи видах визуализации анализаторы спектра Rigol RSA5000 и RSA3000 имеют возможность запуска



Рис. 26. Запуск по частотной маске

(т.е. синхронизации) по частотной маске (FMT), что позволяет быстро захватывать и отображать кратковременные и спорадические события (рис. 26).

В анализаторах спектра Rigol серии DSA700 впервые появилась возможность реализовать непрерывный захват сигнала (рис. 27). Обеспечивается это при активации опции SSC-DSA (Signal Seamless Capture). Использование этого режима удобно при захвате быстроменяющихся сигналов, например, с частотной манипуляцией 2FSK, где происходит скачкообразное изменение частоты. Применение этого режима позволяет предотвратить пропуск события.

Совсем недавно для анализаторов спектра реального времени серии RSA5000 (на момент написания обзора для серии RSA3000 данная опция не была доступна) стало доступным новое опциональное расширение для векторного анализа сигналов RSA5000-VSA.



Рис. 27. Непрерывный захват сигнала

Эта опция была очень ожидаемой, поскольку существенно расширяет область применения анализаторов спектра реального времени Rigol, т.к. включает в себя комплексный анализ сложных сигналов и их демодуляцию (рис. 28). Возможность анализа квадратурно-кодированных сигналов позволяет работать с такими видами модуляции, как QAM и QPSK, а также сигналами с модуляцией ASK и FSK. Кроме того, пользователи могут также проверить сигналы по предустановленным стандартам для сигналов GSM, W-CDMA,



Рис. 28. Комплексный анализ сложных сигналов

Bluetooth, 802.11 b, Zigbee, и APCO 25. Установка опции RSA5000-VSA на любую модель анализатора спектра Rigol RSA5000 позволяет на основе анализа высокочастотных модуляций:

- создавать диаграммы созвездий;
- выводить спектр в реальном времени;
- выполнять проверку по времени/символам;
- создавать список ошибок и диаграммы ошибок.

Это существенно упрощает и ускоряет процесс отладки ВЧ оборудования. При использовании данной опции также возможно сочетание применения частотной маски в реальном времени и запуска по мощности с возможностями поиска по пакетам и синхронизации для идентификации и анализа сигналов. Анализатор спектра серии RSA5000 с установленной опцией VSA можно использовать для проверки битовых последовательностей при помощи тестирования коэффициента битовых ошибок по известным данным.



Рис. 29. Комплект зондов ближнего поля NFP-3

Как уже упоминалось ранее, в анализаторах спектра Rigol RSA5000/3000 в режимах GPSA (как, впрочем, и в анализаторах DSA700 и DSA800) в штатной поставке для различных измерительных задач могут быть выбраны шесть типов детектирования: обычное или нормальное (стандартное Розенфельда) детектирование, детектор выборок, положительный пиковый детектор, отрицательный пиковый детектор, среднеквадратический детектор, детектор с усреднением напряжения. Но существует возможность использовать анализаторы спектра Rigol для проведения предварительных ЭМИ измерений, которые становятся все более и более востребованы в последнее время. Как минимум, для этого в приборах должен быть активирован квазипиковый детектор и определенный набор фильтров ПЧ. Такая возможность для серии RSA5000 реализована в штатной поставке, а для серии RSA3000 необходимо будет приобрести опцию RSA3000-EMC. При этом кроме квазипикового детектора пользователю становится доступен набор фильтров для тестирования на ЭМИ: 200 Гц, 9 кГц, 120 кГц и 1 МГц (кстати, в DSA700 и DSA800 при активации опции DSA800-EMI становились доступны фильтры 200 Гц, 9 кГц, 120 кГц).

Аналогично анализаторам DSA, в новых моделях анализаторов в качестве дат-

чиков для проведения ЭМИ измерений также предлагается использовать комплект зондов ближнего поля NFP-3 (рис. 29). В комплект NFP-3 входят четыре зонда ближнего поля различной конфигурации и набор адаптеров для подключения. Зонды ближнего поля позволяют проводить тестирования на электромагнитную совместимость в диапазоне от 30 МГц до 3 ГГц.

В анализаторах спектра серий DSA для более подробного анализа при тестировании на ЭМС можно было воспользоваться специальным прикладным программным обеспечением для анализаторов спектра RIGOL с опцией ЭМИ измерений — S1210 EMI Pre-compliance Software (далее сокращенно S1210). S1210 позволяет осуществлять дистанционное управление анализаторами спектра серий DSA через интерфейсы USB или LAN, используя стандартные VISA драйвера (рис. 30).

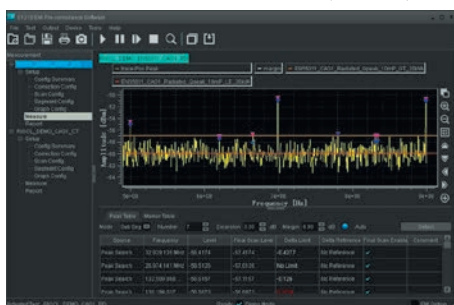


Рис. 30. Программное обеспечение S1210 EMI Pre-compliance Software

Подробнее о возможностях и применении анализаторов спектра Rigol при тестировании на ЭМС читайте в журнале КИПиС 2017 № 4.

Доступно S1210 и для анализаторов спектра серий RSA5000 и RSA3000. Однако в RSA сериях появились куда более мощные возможности при тестировании на ЭМС. Это опции RSA5000-EMI и RSA3000-EMI. При установке данных опций на анализаторы спектра RSA компания Rigol предлагает комплексное решение для обеспечения соответствия требованиям электромагнитных помех (в отличие от опции RSA3000-EMC, где добавляются только фильтры ПЧ и квазипиковый детектор).

При установке опции RSA5000-EMI на анализатор серии RSA5000 или опции RSA3000-EMI на анализатор серии



Рис. 31. Дополнительные измерительные возможности

RSA3000 пользователю становятся доступны следующие возможности (рис. 31):

- встроенные фильтры с полосами пропускания CISPR и детекторы;
- автоматическое сканирование нескольких сегментов;
- задание предельных линий и автоматический поиск пиков / пределов;
- использование до трех трасс с разными детекторами;
- отображение журнала частот;
- измерения в реальном времени с тремя детекторами на маркере или сигнале;
- задание корректирующих коэффициентов для антенн, эквивалентов сетей LISN, кабелей и предварительных усилителей;
- генерация отчетов.

Конечно, тестирование на ЭМИ это большая отдельная тема и в данном обзоре полностью осветить ее нет возможности.

С момента выхода первых приборов Rigol и до настоящего времени компания уделяла большое внимание возможностям дистанционного управления. Вспомним стандарт LXI, который компания Rigol одной из первых внедрила в свои приборы. Естественно анализаторы спектра Rigol, как серий DSA, так и RSA, не являются исключением.



Рис. 32. Задняя панель анализаторов спектра Rigol серий RSA5000 и RSA3000

Пользователи могут дистанционно управлять приборами при помощи команд SCPI. Кроме возможности дистанционного управления при помощи команд SCPI, Rigol предлагает пользователям и полнофункциональное программное обеспечение Ultra Spectrum.

Подробно возможности по управлению анализаторами спектра были описаны в журнале КИПиС 2015 № 6 и КИПиС 2017 № 4 и в данном обзоре нет смысла повторять их. Единственно на что хочется обратить внимание — это коммуникационные интерфейсы для анализаторов серий RSA5000/3000. Таких вариантов интерфейсов три: USB, LAN и HDMI. Все они, как обычно, расположены на задней панели прибора (рис. 32) вместе с входами и выходами синхронизации, тактирования и выходом ПЧ (430 МГц).

Традиционно практически для всех измерительных приборов Rigol имеется возможность подключения по интерфейсу GPIB через адаптер USB-GPIB, который можно подключить к любому разъему USB-host. Анализаторы RSA — не исключение.

В заключении обзора приведем краткую сводную таблицу, которая показывает позиционирование новых анализаторов спектра серий RSA5000 и RSA3000 в модельном ряду приборов Rigol данного класса (табл. 3).

Редакция благодарит компанию RIGOL Technologies, Inc. и официального дистрибьютора Rigol на территории РФ и стран СНГ ООО «Ирит» за предоставленные материалы. ☐

Engineers integrating WiFi, Bluetooth and other modern RF technologies are confronted with complex challenges like frequency hopping signals, channel conflict, and spectrum interference. Real-Time Spectrum Analyzers bring the dimension of time to RF Analysis making it easier to monitor and characterize these complex RF systems. Recently Rigol Technologies has released two new series of spectrum analyzers, RSA5000 (the end of 2017) and RSA3000 (2018), which combine industry leading real-time performance (7.45 μs 100% POI), rich data displays, and advanced triggering options allowing the user to quickly capture, identify and analyze these complex events.

Таблица 3

| Модель | DSA705 / DSA710 | DSA815 | DSA832E / DSA832 / DSA875 | RSA3030 / RSA3045 | RSA5032 / RSA5065 |
|---------------------------------|---|-----------------|--|--|--|
| Тип | свирующийся | | | свирующийся + реального времени | |
| Диапазон | 100 кГц...500 МГц (DSA705) 100 кГц...1 ГГц (DSA710) | 9 кГц...1,5 ГГц | 9 кГц...3,2 ГГц (DSA832E / DSA832) 9 кГц...7,5 ГГц (DSA875) | 9 кГц...3,0 ГГц (RSA3030) 9 кГц...6,5 ГГц (RSA3045) | 9 кГц...3,2 ГГц (RSA5032) 9 кГц...6,5 ГГц (RSA5065) |
| DANL | -130 дБм | -130 дБм | -134 дБм / -151 дБм (опц.) DSA832E -144 дБм / -161 дБм (опц.), нормал. DSA832 / DSA875 | -145 дБм / -161 дБм | |
| Полоса ПЧ | 100 Гц...1 МГц | 10 Гц...1 МГц | 10 Гц...1 МГц | 10 Гц...3 МГц 1 Гц...10 МГц (опц.) | 1 Гц...10 МГц |
| Фильтры ЭМИ | опция (9 кГц, 120 кГц, 200 кГц) + квазипиковый детектор | | | опция (9 кГц, 120 кГц, 200 кГц, 1 МГц) + к/п детектор | (9 кГц, 120 кГц, 200 кГц, 1 МГц) + к/п детектор |
| Трекинг-генератор | - | DSA815-TG | DSA832E-TG / DSA832-TG / DSA875-TG | RSA3030-TG, RSA3045-TG | RSA5032-TG, RSA5065-TG |
| Полоса захвата (реальное время) | - | | | 10 МГц (25 МГц, 40 МГц опц.) | 25 МГц (40 МГц опц.) |
| Дисплей | 8" TFT (800×480) | | | 10,1" сенсорный (1024×600) | |