

# Tektronix RSA306 – компактный высокопроизводительный анализатор спектра

---

Дин Майлс (Dean Miles)

Старший менеджер по техническому маркетингу, Tektronix

Tektronix RSA306 – компактный, портативный анализатор спектра с малым энергопотреблением. Он может работать с ноутбуками и планшетами, оснащенными портом USB 3.0, и получает питание через этот интерфейс (менее 4,5 Вт). Обработку, отображение и хранение данных выполняет компьютер, что позволило уменьшить размеры самого анализатора. Однако малый размер и малое энергопотребление накладывают свои ограничения на радиочастотные характеристики. В этой статье описываются компромиссные решения, позволяющие создать полнофункциональный и гибкий анализатор спектра очень малого размера (примерно 30 x 127 x 190 мм), сохранив достаточно высокие характеристики и удобство, свойственные значительно более крупным приборам.

## Технические характеристики прибора

RSA306 является анализатором спектра реального времени, а это значит, что он захватывает сигнал с помощью высокоскоростного дискретизатора и непрерывно обновляет спектр в полосе захвата с помощью преобразования Фурье. Широкие полосы обзора реализуются путём перестройки частоты гетеродина и переключения полосы прибора в нужный частотный диапазон. Ниже в таблице приведены основные технические характеристики RSA306 (полные технические характеристики прибора можно найти на странице <http://www.tektronix.com/spectrum-analyzer/rsa306>).

Диапазон частот	9 кГц – 6,2 ГГц
Полоса захвата	40 МГц
Диапазон измерения мощности	от +20 до -160 дБм
Динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих	-50 дБн
Погрешность амплитуды	±2,0 дБ
Минимальная длительность обнаруживаемого сигнала	100 мкс
Рабочая температура	от -10 до +55 °С
Масса	590 г

Средний уровень собственных шумов и фазовый шум на различных частотах можно найти в приведённой ниже таблице. Собственные шумы RSA306 очень малы и сравнимы с шумами автономных настольных приборов, таких как Tektronix RSA5106B. Тем не менее, настольные лабораторные приборы среднего класса, такие как RSA5106B, обладают более широким динамическим диапазоном (примерно на 25 дБ) и меньшим

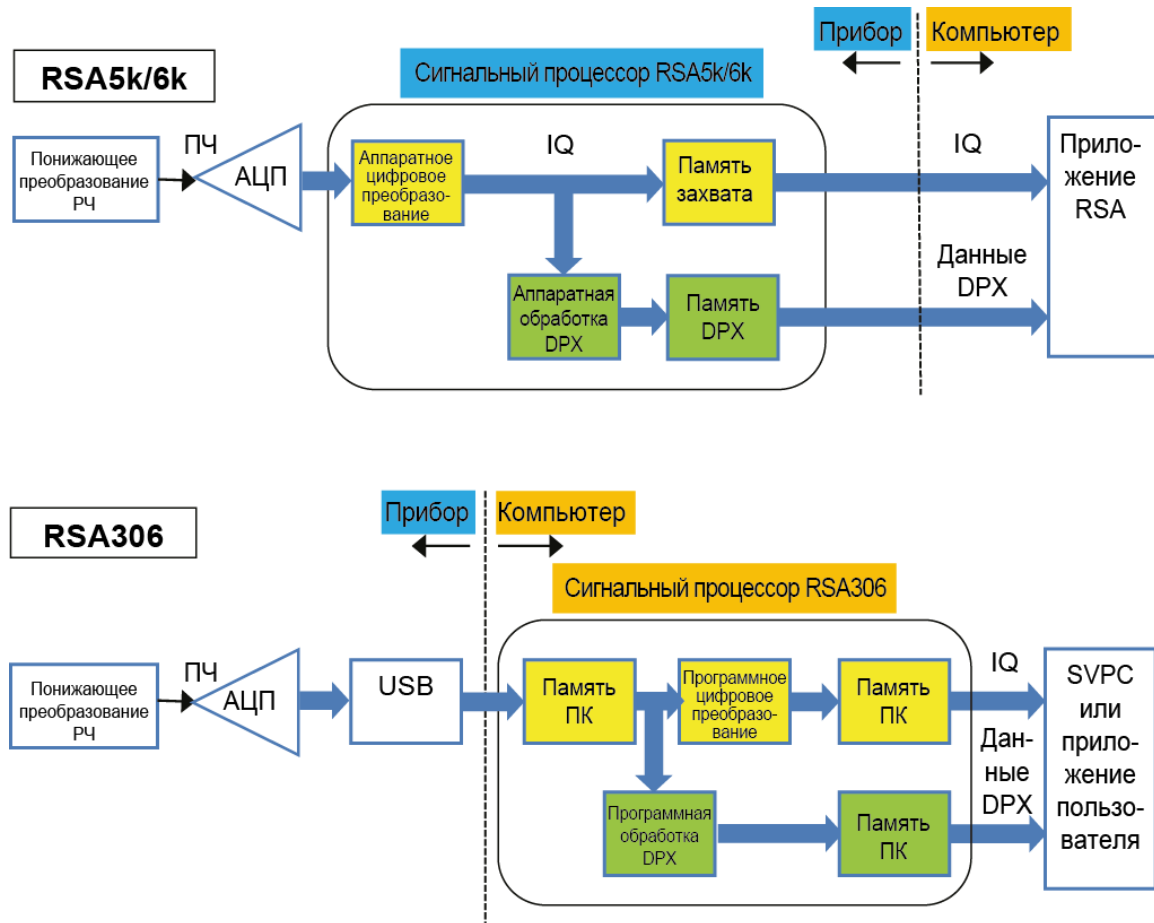
фазовым шумом. Некоторые конструктивные особенности RSA306, влияющие на его технические характеристики, будут описаны в разделе, следующем за описанием конструкции прибора.

РЧ характеристики	
Средний уровень собственных шумов на указанной центральной частоте, типичное значение, дБм/Гц	
100 кГц	-133
10 МГц	-163
1 ГГц	-161
3 ГГц	-158
6,2 ГГц	-153
Фазовый шум на частоте 1 ГГц с указанной отстройкой от несущей, типичное значение, дБн/Гц	
1 кГц	-88
10 кГц	-87
100 кГц	-92
1 МГц	-120

## Архитектура прибора

Пожалуй, самые радикальные изменения архитектуры по сравнению с обычными анализаторами реального времени коснулись тех частей, где выполняется обработка данных. В обычном анализаторе спектра реального времени частота входного сигнала понижается цифровым способом, после чего данные сохраняются в памяти захвата прибора. В RSA306 необработанные данные передаются в ПК через интерфейс USB 3.0, и вся цифровая обработка выполняется программным способом в ПК (рис. 1). Цифровое декодирование данных I-Q, фильтрация, преобразования Фурье, коррекция канала и расчёты спектра DPX выполняются программным способом. Но чтобы программа могла справиться с потоком данных, поступающим из прибора со скоростью 224 МБ/с, нужно использовать

достаточно производительный процессор (4-ядерный Intel i7 или эквивалентный).



**Рис. 1. Сравнение тракта обработки данных настольного анализатора спектра (вверху) и ручного анализатора спектра RSA306 (внизу).**

Интерфейс USB 3.0 SuperSpeed поддерживает физическую скорость передачи 5,0 Гбит/с в прямом и обратном направлениях. Поскольку USB 3.0 использует кодирование 8B/10B, скорость передачи данных ограничена значением 4,0 Гбит/с, а с учётом типичных накладных расходов протокола и установки соединения, скорость передачи данных падает примерно до 3,2 Гбит/с. 14-разрядный АЦП в RSA306 оцифровывает сигнал ПЧ с частотой 112 МГц, создавая поток данных 224 МБ/с (поскольку каждая выборка упаковывается в 16-разрядное слово). Временные метки и информация о запуске добавляют ещё 0,2 % накладных расходов, и в результате скорость передачи информации получается равной 1,8 Гбит/с. И хотя эта скорость значительно ниже реальной скорости передачи 3,2 Гбит/с интерфейса USB 3.0, пакетная структура данных, связанная с особенностями работы операционной системы Microsoft Windows, по-прежнему создаёт некоторые

проблемы. К счастью, ИС Cypress FX3, реализующая интерфейс USB 3.0, имеет буферы для формирования потока. Мы организовали четыре кольцевых буфера, длина которых соответствует длине фрейма протокола нашего устройства. Практические исследования показали, что в Windows 7 или 8, работающей на достаточно производительном процессоре, фреймы не теряются, если процессор не загружен другими параллельными процессами.

Все задачи по управлению RSA306 выполняет программное обеспечение, работающее на ПК. Это программное обеспечение разделено на две части: RSA306 API и SignalVu-PC. ПО SignalVu-PC представляет собой интерфейс пользователя, который работает на различных аппаратных платформах (в анализаторах спектра и осциллографах) и обеспечивает однотипное управление и единообразное отображение данных в одном формате на всех приборах. Кроме того, это программное обеспечение можно использовать автономно (без привязки к конкретному измерительному прибору) для воспроизведения и анализа ранее захваченных сигналов. RSA306 API представляет собой интерпретатор команд, который преобразует команды управления, поступающие из SignalVu-PC, в команды управления анализатором спектра. Перечень команд API общедоступен и может использоваться программистами для написания собственных программ управления и отображения для RSA306.

ПО SignalVu-PC позволяет обрабатывать и отображать несколько окон данных. Базовая версия программы может отображать частотный спектр, спектрограмму (прокручиваемый график зависимости спектра от времени), обзор во временной области, зависимость амплитуды от времени, зависимость частоты от времени, зависимость I и Q от времени, сигналы с аналоговой модуляцией (АМ/ЧМ/ФМ) и спектр/спектрограмму DPX. Изображение спектрограммы DPX – это карта плотности спектра с цветовым кодированием и переменным послесвечением, которая отображает интенсивность сигналов в заданном частотном диапазоне. Самая ресурсоёмкая программная операция во время нормальной обработки – это построение спектрограммы DPX, но оптимизация кода позволяет обновлять экран в реальном времени со скоростью 24 кадра в секунду.

### Измерения, поддерживаемые базовой версией ПО SignalVu-PC

Общий анализ сигналов	Описание
Анализатор спектра	Полоса обзора от 100 Гц до 6,2 ГГц,  3 кривые + математическая обработка и спектрограмма, 5 маркеров с функциями мощности, относительной мощности, интегральной мощности, плотности мощности и дБн/Гц
Спектр/спектрограмма DPX	Отображение в режиме реального времени со 100-процентной вероятностью обнаружения сигналов

	длительностью от 100 мкс в полосе обзора до 40 МГц
Зависимость амплитуды, частоты и фазы от времени	Базовые функции векторного анализа
Зависимость РЧ, I и Q от времени	
Обзор/навигация по времени	Упрощает настройку времени захвата и анализа для выполнения глубокого анализа в нескольких областях
Спектрограмма	Анализ и повторный анализ сигналов с представлением результатов в виде плоской или объёмной водопадной диаграммы
Прослушивание АМ/ЧМ	Прослушивание и запись демодулированных ЧМ и АМ сигналов
<b>Анализ аналоговой модуляции</b>	<b>Описание</b>
Анализ АМ, ЧМ, ФМ	Измерение основных параметров АМ, ЧМ, ФМ сигналов
<b>РЧ измерения</b>	<b>Описание</b>
Измерение паразитных составляющих	Определяемые пользователем граничные линии и области позволяют автоматически тестировать выход спектра за допустимые пределы во всём частотном диапазоне прибора
Маска излучаемого спектра	Маски, устанавливаемые пользователем или определяемые стандартами
Занимаемая полоса частот	По уровню мощности 99 %, по снижению мощности на X дБ
Мощность в канале и коэффициент утечки мощности в соседний канал	Параметры перестраиваемого канала или соседнего/альтернативного канала
Отношение мощностей нескольких несущих	Всеобъемлющие гибкие многоканальные измерения мощности
Комплементарная интегральная функция распределения	Статистический анализ изменений уровня сигнала

Имеются дополнительные режимы отображения для измерения параметров специальных типов сигнала. Эти режимы доступны в виде программных опций к базовой версии ПО.

Для анализа цифровой модуляции предлагаются следующие инструменты: констелляционная диаграмма (поддерживаются 27 типов модуляции, включая QAM, QPSK, GMSK, FSK и APSK), зависимость демодулированных сигналов I и Q от времени, глазковая диаграмма, зависимость амплитуды вектора ошибки (EVM) от времени, зависимость девиации частоты от времени, зависимость погрешности амплитуды от времени, зависимость фазы от времени, качество сигнала, таблица декодированных символов и решётчатая диаграмма.

Инструменты для измерения параметров РЧ импульсов включают отображение формы импульса, статистические параметры импульсов и таблицу импульсов. Средства анализа OFDM включают АЧХ канала OFDM, констелляционную диаграмму OFDM, амплитуду вектора ошибки OFDM, неравномерность спектра OFDM, погрешность амплитуды OFDM, погрешность фазы OFDM, мощность OFDM, показатели качества сигнала OFDM и таблицу декодированных символов OFDM.

Имеются средства анализа сигналов WLAN (WiFi), которые поддерживают стандарты 802.11a/b/g/j/n/p/ac и охватывают следующие измерения: маска излучаемого спектра, АЧХ канала WLAN, констеляционная диаграмма WLAN, амплитуда вектора ошибки WLAN, неравномерность спектра WLAN, погрешность амплитуды WLAN, погрешность фазы WLAN, зависимость мощности WLAN от времени, показатели качества сигнала WLAN и таблица декодированных символов WLAN.

Измерения радиосигналов стандарта APCO P25 включают измерение отношение мощностей нескольких несущих (MCPR), констеляционную диаграмму P25, глазковую диаграмму P25, зависимость девиации частоты P25 от времени, зависимость мощности P25 от времени, показатели качества сигнала P25 и таблицу декодированных символов P25. И, наконец, средства анализа звука включают отображение спектра звука, живую демодуляцию звукового сигнала и сводку измеренных параметров звука.

Имеется также опция для пеленгации, которая может отображать и регистрировать координаты источников сигналов, если управляющий компьютер оснащен приёмником GPS. Эта опция доступна для всех платформ, на которых может работать SignalVu-PC.

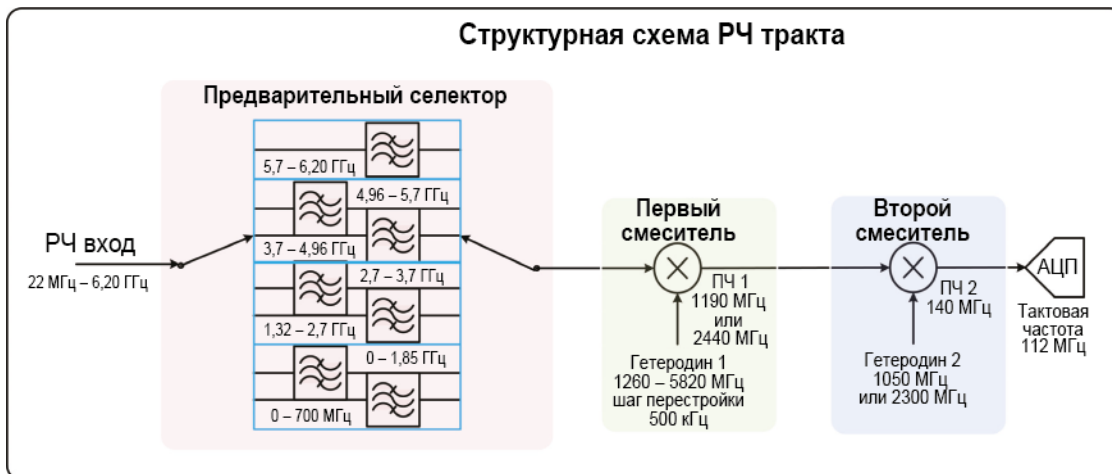
Кроме того, ПО SignalVu для анализатора RSA306 можно использовать в качестве рекордера сигнала с полосой 40 МГц. Если управляющий ПК оборудован достаточно производительной дисковой системой (твердотельным накопителем со скоростью записи не менее 300 МБ/с), данные можно записывать на диск непрерывно до его заполнения. Данные можно сохранить для последующей обработки одним файлом или несколькими файлами равной длины. Файлы данных можно открывать в ПО Matlab и применять к ним поправки на АЧХ прибора.

## **Малое энергопотребление**

Характерными конструктивными особенностями анализатора спектра RSA306 являются компактность и малое энергопотребление. Это предоставляет возможность получать питание от порта USB 3.0. Такое питание накладывает на конструкцию прибора жёсткие ограничения: в момент подключения к порту USB устройство может потреблять не более 100 мА, а после установки соединения не более 900 мА при напряжении 5 В (с учётом падения на кабеле напряжение может снижаться до 4,5 В). Таким образом, устройство должно потреблять не более 4 Вт во всём рабочем диапазоне температур, который для RSA306 составляет от -10 до +55 °С. Поскольку рабочий ток анализатора RSA306 растёт с температурой, то для удовлетворения требований к питанию через порт USB 3.0, ток потребления прибора при комнатной температуре должен быть ниже примерно на 30 мА.

Для сравнения: типовая потребляемая мощность настольного анализатора спектра составляет от 100 до 400 Вт.

Цифровые схемы RSA306 (АЦП, ПЛИС, USB3, ПЧ, задающий генератор) потребляют примерно 0,75 Вт с учётом потерь импульсных преобразователей питания. Остальная часть, включая РЧ тракт, потребляет примерно 3,1 Вт. РЧ тракт (рис. 2) состоит из переключаемого входного аттенюатора, переключаемого предусилителя, ступенчатого аттенюатора тонкой настройки и дополнительного каскада с переключаемым усилением (который настраивается автоматически в зависимости от установленного опорного уровня, что позволяет снизить шум и искажения), за которым следует один из семи аналоговых предварительных фильтров, который выбирается в зависимости от входной частоты. Затем сигнал поступает на первый смеситель, где преобразуется в одну из промежуточных частот – 1190 МГц или 2440 МГц, которая выбирается автоматически так, чтобы минимизировать уровень паразитных составляющих. После фильтрации и усиления сигнал поступает на второй смеситель, где его частота понижается до второй промежуточной частоты 140 МГц. Эта ПЧ усиливается и пропускается через полосовой 42 МГц ПАВ-фильтр, за которым следует LC-фильтр седьмого порядка, и с выхода этого фильтра сигнал поступает на АЦП.



**Рис. 2. Упрощённая схема РЧ тракта анализатора RSA306.**

Характеристики РЧ тракта сильно зависят от линейности компонентов, которая препятствует возникновению паразитных составляющих в процессе усиления и смешения, а линейность обоих этих процессов, как правило, растёт с ростом мощности. Поэтому для анализатора тщательно отбираются компоненты, обладающие высокой линейностью и минимальным шумом при малой мощности. Фильтрация паразитных составляющих (гармоник и продуктов смешения, возникающих в результате взаимодействия входного сигнала, сигналов гетеродинов и тактовых частот)



позволяет получить свободный от паразитных составляющих динамический диапазон с нижней границей примерно на 50 дБн ниже диапазона входного РЧ сигнала. Для уменьшения размера и снижения цены прибор собран на одной печатной плате с миниатюрными экранами, которая установлена в цельный корпус из экструдированного профиля. На многих частотах динамический диапазон достигает значения -65 дБн; однако основным фактором, ограничивающим уровень паразитных составляющих, является уровень РЧ развязки между внутренними цепями.

Другим важным элементом конструкции являются фильтры, используемые в РЧ тракте. Недорогие ПАВ-фильтры с широкой полосой пропускания, малыми пульсациями и хорошим подавлением за пределами полосы обладают обычно и большими потерями в полосе пропускания. Это делает необходимым дополнительное усиление, которое даёт прибавку потребляемой мощности и вносит дополнительные нелинейные искажения. Вместо многоконтурного синтезатора частоты в анализаторе применены низковольтные интегральные синтезаторы, обладающие малыми фазовыми шумами, что позволило сократить как размеры, так и стоимость устройства. Эти синтезаторы тактируются высокочастотным кварцевым генератором с малым джиттером, который используется и для тактирования АЦП, что позволяет получить приемлемый фазовый шум, достаточный для получения EVM порядка 1 %.

Динамический диапазон и значения фазового шума ограничены из-за ограничения по потребляемой мощности от порта USB 3.0. Тем не менее, компьютерные стандарты постоянно развиваются, и в недалёком будущем интерфейс USB 3.1 обещает повышенные скорости передачи данных и дополнительную мощность. А тем временем такие настольные приборы, как Tektronix RSA5k и RSA6k, обладают лучшими РЧ характеристиками, поскольку потребляемая мощность для них – не проблема, и управляются они той же программой с тем же интерфейсом пользователя.

## Типовые области применения

Пришествие цифровой обработки РЧ сигналов (Digital RF) ознаменовалось повсеместным распространением беспроводных сетей и появлением интернета вещей (IOT).

Digital RF представляет собой слияние цифровых компьютерных технологий, цифровой обработки сигнала и ПЛИС с традиционными РЧ приложениями. Это привело к быстрому распространению новых технологий, таких как Bluetooth, Wi-Fi и WiMAX, и к появлению новых продуктов для конечных пользователей.

Эти приложения часто используют одни и те же участки РЧ спектра и требуют применения сложных, изменяющихся во времени сигналов с адаптивной модуляцией, скачкообразной перестройкой частоты и пакетной передачей, что позволяет избежать помех.



В связи с изменением сигналов во времени возникает потребность тестирования таких устройств одновременно во временной, частотной и модуляционной областях.

Портативный и лёгкий RSA306A, благодаря обширному набору функций и аналитическим возможностям ПО SignalVu, оказался недорогим решением для многих приложений:

- Обнаружение помех. – За счёт очень широкой полосы обзора 40 МГц в совокупности с технологией DPX реального времени, нанесения источников помех на карту и живого представления спектра, RSA306A может быстро выявлять непериодические сигналы длительностью от 10 мс, а также без труда идентифицировать помехи от соседних каналов.
- Образование. – RSA306A предлагает студентам и преподавателям возможность работать с недорогим портативным решением, позволяющим выполнять анализ в нескольких областях (спектр, время, частота и модуляция), благодаря наличию бесплатного ПО и учебных материалов. Прибор помогает легко понять и визуально проанализировать взаимодействие аналоговых, цифровых и РЧ параметров и идеально подходит для учебных и исследовательских лабораторий.
- Ввод в эксплуатацию и техническое обслуживание сетей. – Портативный и прочный ручной анализатор реального времени, получающий питание от порта USB 3.0, может выполнять все РЧ измерения в полевых условиях и диагностировать состояние различных сетей беспроводной связи. Полная поддержка Tetra, P25 и WLAN позволяет быстро и просто выявлять неисправности и выполнять полную проверку сетей мобильной связи и транкинговых радиосистем, а также проводить профилактическое обслуживание.