

Эффективное число битов (ENOB) цифрового осциллографа R&S

Техническое описание

Изделия:

R&S®RTO1012	R&S®RTO1022
R&S®RTO1014	R&S®RTO1024

Техническое описание знакомит с параметром качества сигнала "эффективное число битов" (ENOB) и показывает, каким образом оно может быть измерено для цифровых осциллографов R&S®RTO.

Содержание

1	Базовые сведения о параметре ENOB	3
1.1	Аналого-цифровые преобразователи и ENOB	3
1.1.1	Идеальный аналого-цифровой преобразователь	3
1.1.2	Неидеальные аналого-цифровые преобразователи	4
1.1.3	Входной каскад	4
1.2	Измерение параметра ENOB.....	5
1.2.1	Выбор амплитуды	5
1.2.2	Выбор частоты.....	6
1.2.3	Выбор числа отсчетов	6
2	Измерительная установка и результаты измерений	7
2.1	Измерительная установка	7
2.1.1	Оборудование	7
2.1.2	Настройки осциллографа R&S® RTO.....	8
2.1.3	Дистанционное управление с помощью MATLAB	8
2.2	Результаты измерений.....	9
2.2.1	Осциллограф R&S® RTO1024 при чувствительности 50 и 500 мВ/дел. и 95% от предельного входного значения	9
2.2.2	Осциллограф R&S® RTO1024 при чувствительности 50 мВ/дел с использованием и без использования опции R&S® OCXO	10
2.2.3	Осциллограф R&S® RTO1024 при чувствительности 50 мВ/дел при различных предельных входных значениях.....	10
2.2.4	Осциллограф R&S® RTO1012 при чувствительности 50 мВ/дел	12
2.2.5	Быстрые результаты непосредственно на R&S® RTO.....	12
2.3	Обсуждение результатов.....	15
2.3.1	В чем причина проседания ENOB в диапазоне 400 МГц ... 1 ГГц?	15
2.3.2	Что происходит с ENOB после номинальной полосы частот?	15
2.3.3	Действительно ли использование опции R&S® OCXO необходимо?	15
2.3.4	Влияние амплитуды входного сигнала	15
2.3.5	ENOB более 7 для R&S® RTO1012!	15
3	Литература	16
4	Дополнительная информация	16
5	Информация для заказа	16

1 Базовые сведения о параметре ENOB

Параметр *эффективное число битов* (ENOB – effective number of bits) служит для измерения качества аналого-цифрового преобразования. Чем выше значение ENOB, тем более точно воспроизводятся уровни напряжения, зарегистрированные при аналого-цифровом преобразовании.

В осциллографе параметр ENOB определяется не только качеством аналого-цифрового преобразования, но и прибором в целом. В настоящем документе описан способ измерения ENOB осциллографа и показаны результаты такого измерения для осциллографа R&S® RTO при различных настройках.

1.1 Аналого-цифровые преобразователи и ENOB

1.1.1 Идеальный аналого-цифровой преобразователь

Простейшая схема идеального аналого-цифрового преобразователя (АЦП) показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема идеального аналого-цифрового преобразователя

Идеальный аналого-цифровой преобразователь обладает идеальной линейной характеристикой и просто квантует входящий сигнал. Процесс квантования порождает шум квантования. Используя мощность сигнала и мощность шума, можно получить *отношение сигнал-шум* (SNR – signal to noise ratio) для сигнала после аналого-цифрового преобразования. Если на входе используется синусоида с предельным для АЦП значением амплитуды, то отношение SNR можно записать как

$$\text{Уравнение 1} \quad SNR = 1,5 \times 2^{2B}.$$

Здесь B обозначает число битов АЦП. Выражая уравнение в дБ, получаем,

$$\text{Уравнение 2} \quad SNR_{dB} \approx 1,76 + 6,02B \text{ дБ}.$$

Перепишав уравнение для B , получим

$$\text{Уравнение 3} \quad B \approx \frac{SNR_{dB} - 1,76}{6,02}$$

Уравнения 1–3 показывают, как из отношения сигнал-шум может быть получено число битов B , и служат основой для вычисления параметра ENOB. В случае идеальных АЦП результатом для B всегда будет положительная целая величина. В случае неидеальных АЦП, которые будут рассмотрены в следующем разделе, B может быть любым положительным действительным числом.

1.1.2 Неидеальные аналого-цифровые преобразователи

Идеальных АЦП не существует. Каждый АЦП вносит искажения во входной сигнал. Типичные искажения – это шум, нелинейная входная характеристика, а так же погрешности усиления и смещения. Модель нелинейного АЦП показана на рисунке 2.

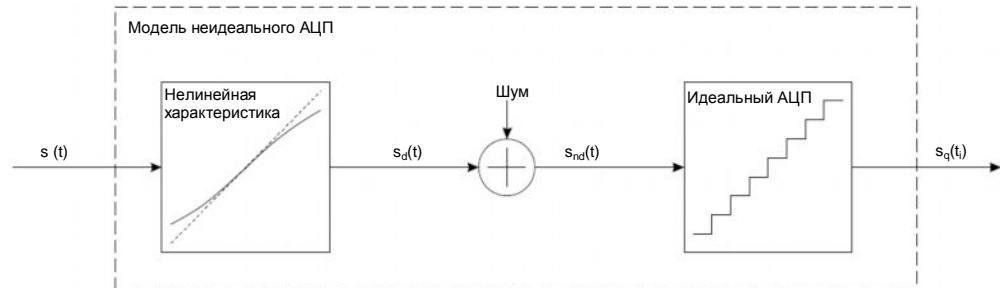


Рисунок 2 – Модель неидеального аналого-цифрового преобразователя

Шум напрямую вносит вклад в ухудшение отношения SNR для АЦП. Нелинейность входной характеристики приводит к появлению гармоник, которые так же понижают достигнутое отношение SNR. Так, 12-битный АЦП может характеризоваться параметром ENOB, равным 10,5. Это означает, что хотя выходная разрядность АЦП и равна 12, достигаемое отношение SNR соответствует идеальному АЦП с разрядностью 10,5 бит.

В зависимости от конструкции АЦП, параметр ENOB также может зависеть от входной частоты. Высокие частоты могут приводить к большей нелинейности в цепи, что ухудшает ENOB. Таким образом, подробное техническое описание АЦП обычно включает зависимость параметра ENOB от входной частоты.

1.1.3 Входной каскад

В осциллографе, для достижения наилучшего режима его использования, требуются дополнительные элементы на входе АЦП. Эти элементы схематично показаны на рисунке 3. Первым идет усилитель с переменным коэффициентом усиления (VGA), который масштабирует входной сигнал для оптимального использования динамического диапазона АЦП. Вторым идет сглаживающий фильтр низких частот. Оба компонента вносят дополнительные искажения во входные сигналы. VGA состоит из активных компонентов и вносит в сигнал нелинейные компоненты, а также обладает частотной зависимостью. Влияние аналогового фильтра менее критично, но он также обладает неидеальной частотной характеристикой. Хорошая конструкция входного каскада минимизирует отрицательные воздействия на входной сигнал.

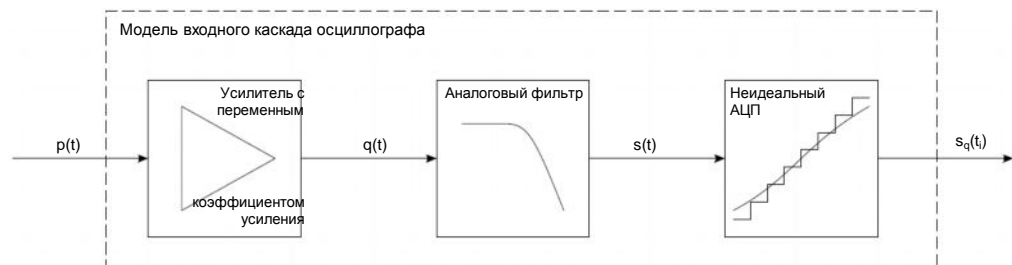


Рисунок 3 – Упрощенная модель входного каскада осциллографа

1.2 Измерение параметра ENOB

Терминология и методы испытания АЦП определены институтом IEEE в стандарте [1]. Стандарт содержит следующее определение параметра ENOB

Уравнение 4
$$\text{ENOB} = 0.5 \log_2(\text{SINAD}) - 0.5 \log_2(1.5) - \log_2\left(\frac{A}{V}\right).$$

Применяются следующие определения:

V – предельный диапазон для испытываемого устройства (ИУ);

A – размах гармонического сигнала с учетом выхода;

SINAD – отношение сигнала к шуму и искажениям.

В данном документе отношение SINAD определяется как

Уравнение 5
$$\text{SINAD} = \frac{P_S}{P_{NAD}}.$$

Применяются следующие определения:

P_S – мощность сигнала; мощность бина БПФ в соответствии с входной частотой;

P_{NAD} – мощность шума и искажений; сумма мощностей во всех остальных частотных бинах, исключая нулевой частотный бин, вплоть до (включая) бина с частотой Найквиста.

Здесь стоит заметить, что SNR и SINAD, согласно определению в [1], являются отношениями среднеквадратических величин, а не отношениями значений мощности, которое, например, типично для техники связи. В данном документе для измерений обеих величин единообразно использованы отношения значений мощности.

В [1] определены методы для вычисления SINAD с помощью анализа во временной или частотной области. Для простоты, в данном документе сделан упор на анализе в частотной области. Правильный выбор частоты измерения описан в разделе 1.2.2. Затем, для вычисления значений P_S и P_{NAD} , согласно их определению, используется быстрое преобразование Фурье (БПФ).

1.2.1 Выбор амплитуды

В стандарте IEEE входная амплитуда для измерения параметра ENOB точно не определена. Согласно [1] может быть использована любая входная амплитуда, так как в определении ENOB учитывается разница между предельной амплитудой и фактической амплитудой измерения (см. последнее слагаемое уравнения 4).

Существует две возможности учета амплитуды.

1. Параметр ENOB определен для отдельной входной амплитуды. По общим техническим условиям ENOB измеряется при 90% или 95% от предельного входного значения. При использовании определения из *уравнения 4*, ENOB становится лучше с уменьшением входной амплитуды, потому что на измерение, в действительности, влияют только нелинейности вплоть до амплитуды измерения.

2. Нормирование амплитуды в уравнении 4 опускается, и измерение параметра ENOB основывается только на отношении SINAD. При использовании данного метода оптимальная рабочая точка испытываемой системы может быть найдена как наилучший компромисс между входной мощностью и искажением из-за нелинейностей. Т.к. данное определение не соответствует официальному определению ENOB, в разделе результатов оно обозначается как ENOB*.

Следует отметить, что параметр ENOB* более практичен при разработке и испытании измерительной системы. Параметр напрямую соответствует наблюдаемому в измерительном устройстве качеству сигнала. Мера ENOB служит основой для сравнения различных систем, а также является единственным полезным эталоном в их совместном анализе и указании входной амплитуды, при которой проводилось измерение.

В разделе 2.2.3 представлены результаты для обоих типов измерений при различных значениях входной амплитуды. Все остальные измерения были проведены при 95% от предельного значения амплитуды.

1.2.2 Выбор частоты

Входная частота должна быть выбрана так, чтобы точно заполнять частотный бин БПФ. Это эквивалентно высказыванию, что дискретная последовательность должна включать в себя только полные периоды измерительного сигнала. Такое требование важно в целях исключения любых оконных эффектов, которые сделают измерение излишне сложным.

Далее, для получения надежных результатов, должно быть дискретизировано как можно большее количество фаз входного сигнала, и должны быть задействованы все выходные коды АЦП. С использованием обозначений из раздела 5.4.1 [1] оптимальные частоты измерения задаются как

Уравнение 6
$$f_{\text{opt}} = f_s \frac{J}{M},$$

где:

f_{opt} – полезная частота измерения для вычисления ENOB;

f_s – частота дискретизации ИУ;

M – число отсчетов в тестовой последовательности;

J – число периодов входного сигнала в тестовой последовательности. Оно должно быть целым взаимно простым к M .

Быть взаимно простым числом означает не иметь общих множителей. Например, 100 (множители 2 и 5) взаимно простое к 9 (множитель 3), но не к 15 (множители 3 и 5). В следующих измерениях используются только частоты, которые могут быть получены из уравнения 6.

1.2.3 Выбор числа отсчетов

В [1] определена минимальная длина последовательности

Уравнение 7
$$M = \pi 2^B.$$

Для следующих измерений было использовано круглое число 10000, которое удовлетворяет данному условию. Данное условие гарантирует высокую плотность дискретизированных фаз измерительного сигнала, и, таким образом, обеспечивает надежные результаты.

2 Измерительная установка и результаты измерений

В осциллографах R&S RTO используется 8-битный АЦП, спроектированный для достижения большого динамического диапазона, то есть больших значений ENOB. Как показано в [2], параметр ENOB данного АЦП выше 7 для диапазона входных частот вплоть до 4 ГГц. Итоговая динамическая характеристика осциллографа к тому же зависит от конструкции аналогового входного каскада. В данной главе описана процедура измерения, а также обсуждаются ее результаты.

2.1 Измерительная установка

2.1.1 Оборудование

Схема соединения измерительного оборудования показана на рисунке 4.

Для генерации измерительного сигнала используется **генератор сигналов R&S[®] SMA100A**. Генератор R&S[®] SMA100A предназначен для гармоник с уровнем менее 30 дБн. Для снижения влияния данных гармоник на измерения параметра ENOB выход R&S[®] SMA фильтруется **переключаемым аналоговым ФНЧ**.

Следующий прибор в цепи измерения – испытуемое устройство (ИУ). В качестве примера испытываются **цифровые осциллографы R&S[®] RTO1024** (2 ГГц, 4 канала) и **R&S[®] RTO1012** (1 ГГц, 2 канала). Осциллограф **R&S[®] RTO1024** снабжен опцией ОСХО (кварцевый генератор с термостатированием) R&S[®] RTO-B4. Данная опция содержит порт для входного опорного сигнала, который подается с генератора R&S[®] SMA100A. Осциллограф **R&S[®] RTO1012** был испытан без внешнего источника опорной частоты.

Для передачи сигналов между устройствами были использованы высококачественные кабели. В противном случае линии передачи также могли стать источником искажений.

Наконец, для дистанционного управления приборами, а также для чтения и оценки полученных данных от R&S[®] RTO используется ПК с установленным ПО MATLAB.

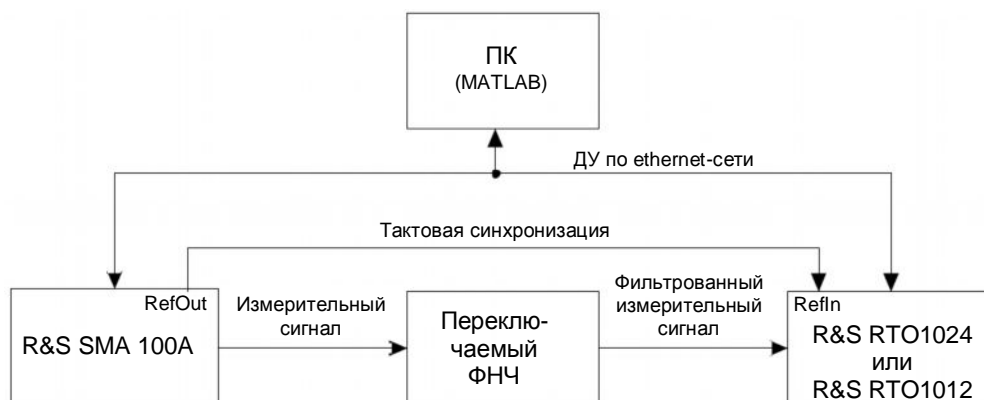


Рисунок 4 – Схема соединения измерительного оборудования

2.1.2 Настройки осциллографа R&S®RTO

В осциллографе R&S®RTO установлена частота дискретизации 10 млрд. отсчетов/с (интерполяция и децимация отсутствуют), соответствующая разрешению 100 пс. В дальнейшем используется длина записи в 10000 отсчетов, чего достаточно для проведения точных измерений (см. раздел 1.2.3).

2.1.3 Дистанционное управление с помощью MATLAB

Поддержка дистанционного управления (ДУ) – очень полезная функция осциллографа R&S®RTO. С ее помощью можно проводить измерения с высокой степенью автоматизации.

Например, для ENOB при 95% от предельного значения, следует провести измерение в отдельном диапазоне частот. Точный выходной уровень генератора R&S®SMA100A зависит от выходной частоты. К тому же, переключаемый ФНЧ не свободен от пульсаций, а осциллограф R&S®RTO имеет свою собственную частотную характеристику. Используя ДУ через сценарий MATLAB, выходная амплитуда генератора R&S®SMA подстраивается до 95% от предельного значения входного сигнала на каждой частоте измерения.

Для получения дополнительной информации о дистанционном управлении прибором R&S®RTO см. [3].

2.2 Результаты измерений

Если не указано иное, все результаты были получены с использованием опции ОСХО для частотной синхронизации осциллографа R&S®RTO с генератором R&S®SMA.

2.2.1 Осциллограф R&S®RTO1024 при чувствительности 50 и 500 мВ/дел. и 95% от предельного входного значения

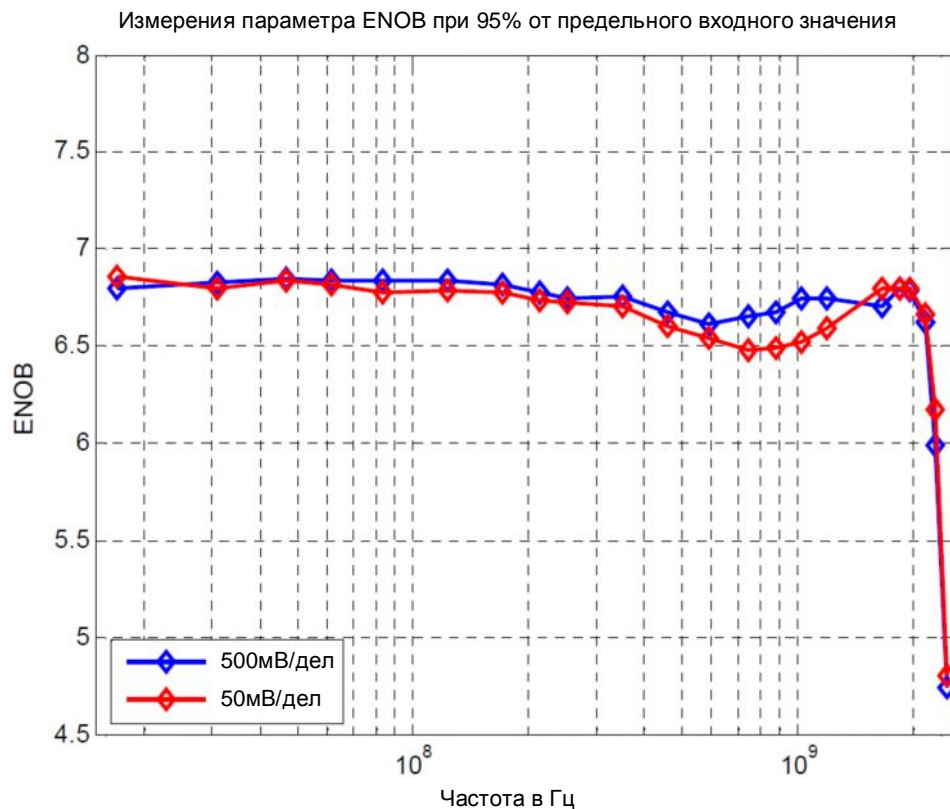


Рисунок 5 – Результаты измерения параметра ENOB при 95% от предельного входного значения и при чувствительности 500 и 50 мВ/дел

2.2.2 Осциллограф R&S® RTO1024 при чувствительности 50 мВ/дел с использованием и без использования опции R&S® OCXO

Измерения параметра ENOB при 95% от предельного входного значения с использованием и без использования опорного источника

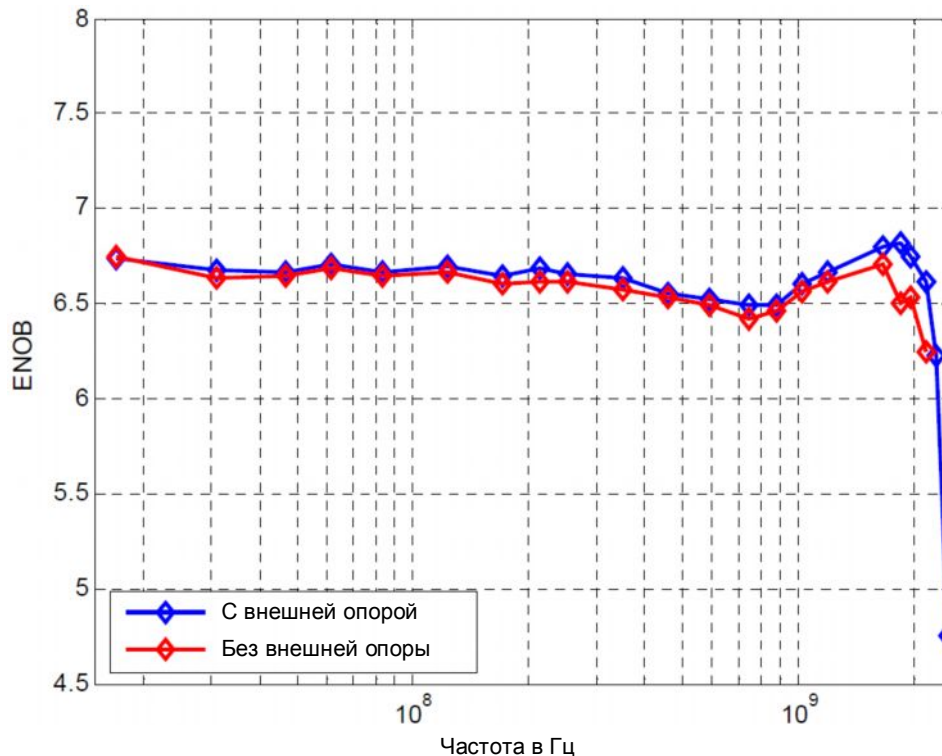


Рисунок 6 – Результаты измерения параметра ENOB при 95% от предельного входного значения и при чувствительности 50 мВ/дел с использованием и без использования источника опорной частоты

2.2.3 Осциллограф R&S® RTO1024 при чувствительности 50 мВ/дел при различных предельных входных значениях

На рисунке 7 показаны измерения параметра ENOB для различных предельных входных значений. Как и ожидалось, результаты, вычисленные с помощью уравнения 4, дают лучшие значения ENOB для более низких входных амплитуд. Это происходит из-за того, что ввиду низких входных амплитуд в системе измеряется меньшее количество нелинейностей.

Пропуская нормирование, получают результаты для ENOB*, показанные на рисунке 8. Данные результаты напрямую зависят от значения SINAD.

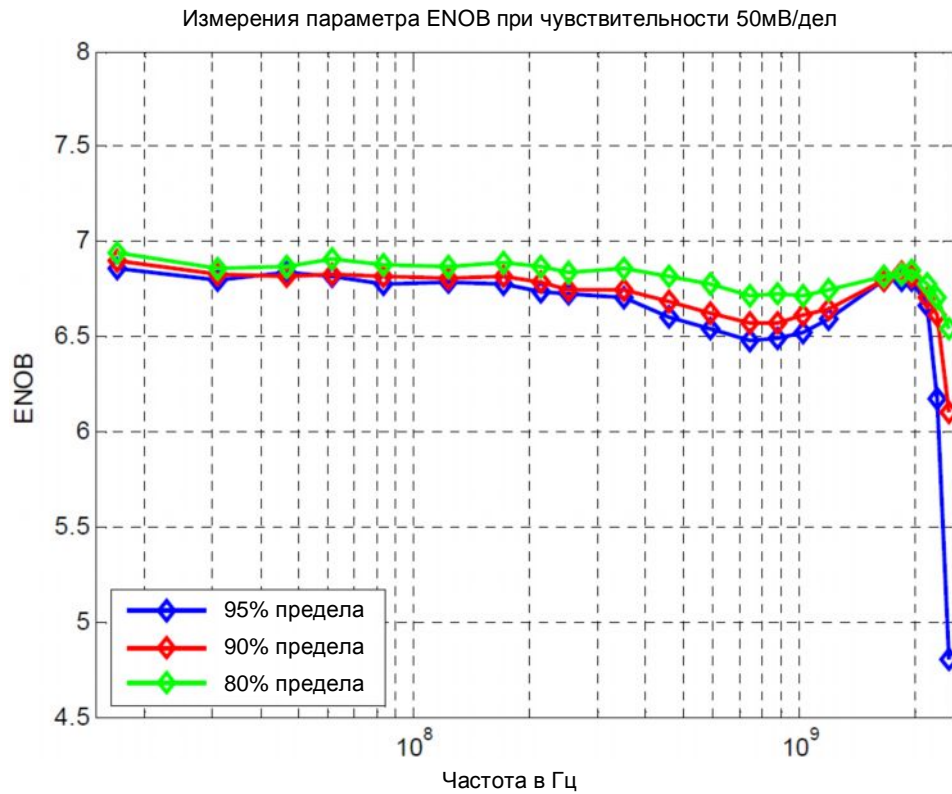


Рисунок 7 – Результаты измерения ENOB при чувствительности 50 мВ/дел и при различных предельных входных значениях. Разницы амплитуд компенсируются при вычислении ENOB, что приводит к лучшим результатам для низких входных амплитуд. Это происходит из-за того, что на входной сигнал влияет меньше нелинейностей системы.

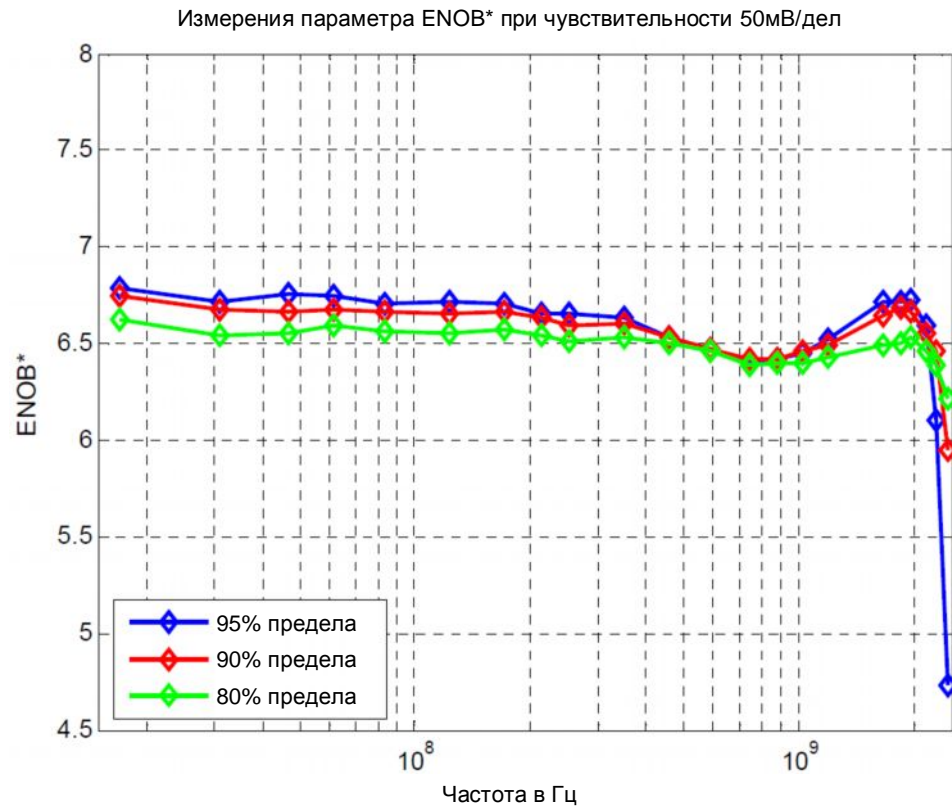


Рисунок 8 – Результаты измерения параметра ENOB* при чувствительности 50 мВ/дел и при различных предельных входных значениях. Значение ENOB* не компенсирует разницу входных амплитуд и зависит только от отношения SINAD.

2.2.4 Осциллограф R&S®RTO1012 при чувствительности 50 мВ/дел

Измерения для осциллографа R&S®RTO1012 были проведены при 95% от предельного входного значения без опции R&S®ОСХО. Следует отметить, что ширина полосы R&S®RTO1012 составляет 1 ГГц и у него 2 входных канала.

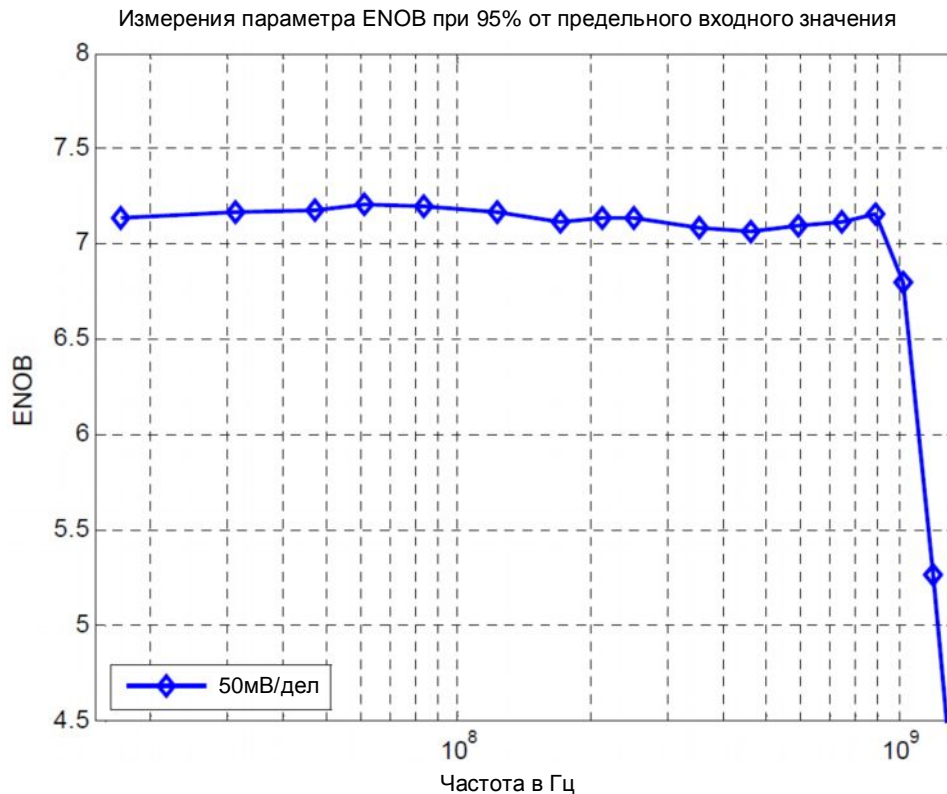


Рисунок 9 – Результаты измерения ENOB для R&S®RTO1012 (полоса 1 ГГц, 2 канала)

2.2.5 Быстрые результаты непосредственно на R&S®RTO

Приблизительные результаты измерения параметра ENOB могут быть также получены непосредственно на осциллографе R&S®RTO с помощью функции БПФ.

В следующем примере была использована частота измерений 107 МГц, частота дискретизации 10 млрд. отсчетов/с, длительностью записи 10000 отсчетов.

На снимке экрана, показанном на рисунке 10, можно видеть следующее:

- На диаграмме 1 показан захваченный сигнал.
- Измерение *Measurement 1* подтверждает, что входной сигнал чуть больше 95% от предельного входного значения. В данном случае предельное значение равно 500 мВ, а 95% от предельного значения составляет 475 мВ.
- На диаграмме 2 показано БПФ входного сигнала в диапазоне частот от 0 Гц до 5 ГГц.
- Измерение *Measurement 2* показывает мощность сигнала в пределах диапазона от 120 МГц до 5 ГГц, что приблизительно равно -45,4 дБмВт.
- Измерение *Measurement 3* показывает мощность сигнала в диапазоне частот от 90 МГц до 120 МГц, что приблизительно равно -2,45 дБмВт.

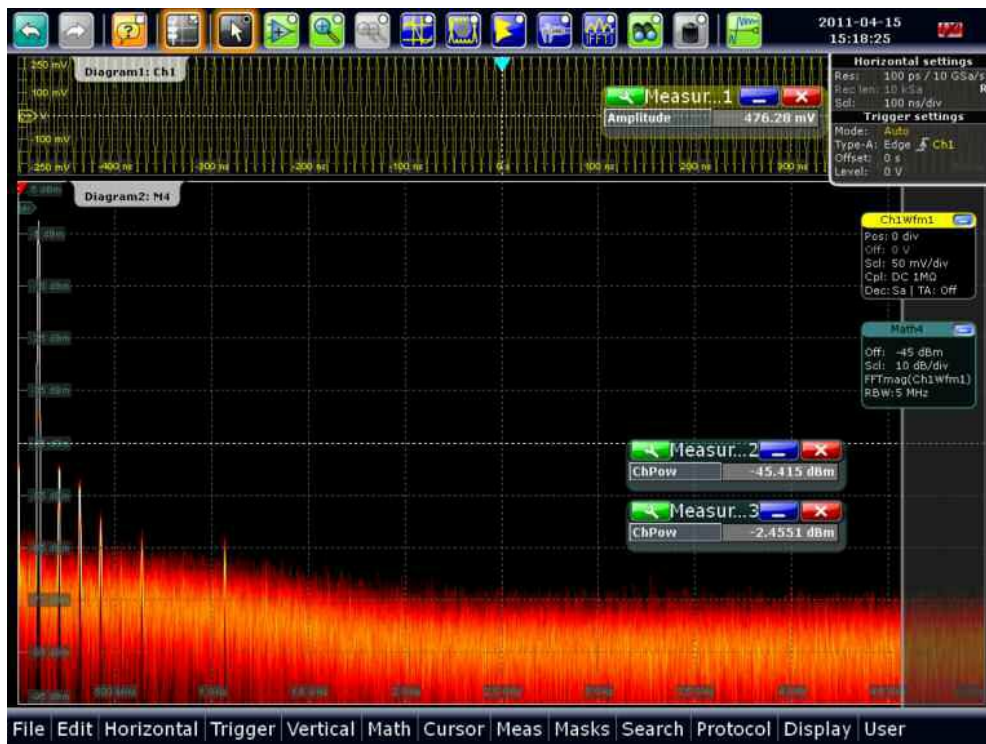


Рисунок 10 – Снимок экрана при измерении значения ENOB непосредственно на RTO

Используя уравнение 4, получаем

$$\begin{aligned} \text{ENOB} &= 0.5 \log_2 \left(10^{\frac{-2.45 - (-45.4)}{10}} \right) - 0.5 \log_2(1.5) - \log_2(0.95) \\ &= 7.13 - 0.29 - (-0.074) \end{aligned}$$

что дает значение ENOB приблизительно равное 6,9.

Хотя данные результаты соответствуют измерениям, сделанным с использованием MATLAB, следует быть осторожными по следующим причинам:

- Во-первых, наиболее точные результаты измерения ENOB получаются, когда длина БПФ в точности равна длине записи, что легче всего делается в среде MATLAB. В данной схеме измерения, непосредственно на R&S® RTO, это не так. Это происходит из-за того, что функция БПФ R&S® RTO оптимизируется по скорости, а не по произвольной настройке длины БПФ. Это также объясняет, почему мощность сигнала была измерена в диапазоне частот от 90 до 120 МГц, соответствующем основному лепестку сигнала.
- Во-вторых, поскольку упор был сделан на быстрое получение результатов, было пропущено измерение мощности шума в диапазоне от 0 до 90 МГц. Включение данного измерения могло бы привести к кардинальному ухудшению значения ENOB.

На рисунках 11 и 12 показаны экраны с настройками для получения результатов измерения мощности *Measurement 2* и *Measurement 3*.

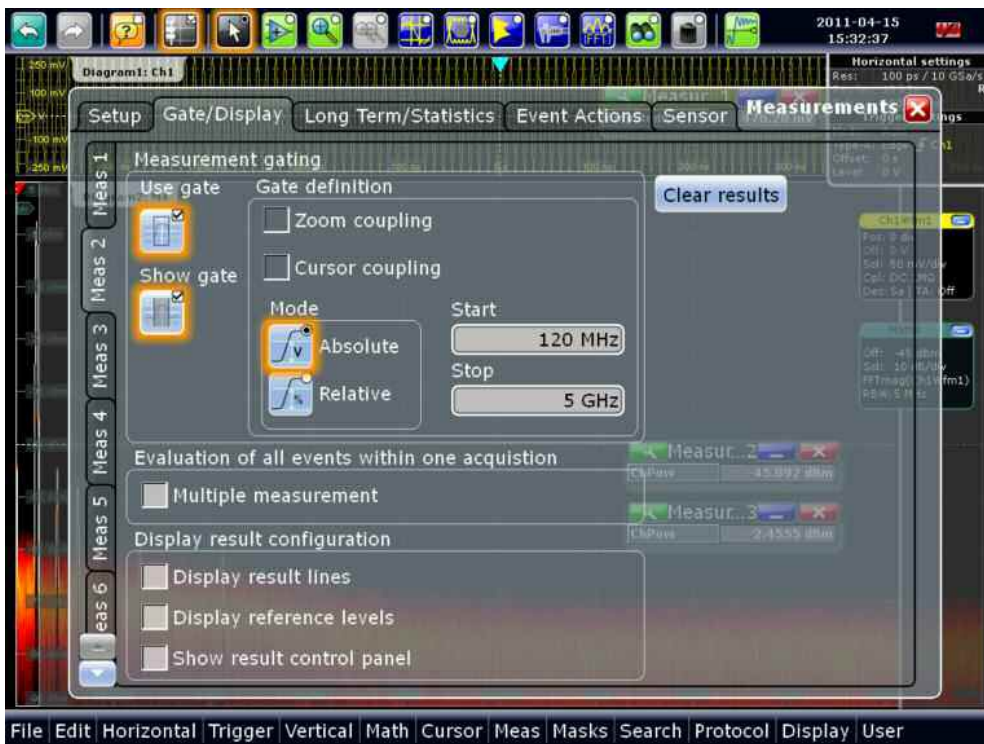


Рисунок 11 – Экран настройки стробируемого измерения шума и мощности искажения (Measurement 2)



Рисунок 12 – Экран настройки стробируемого измерения мощности сигнала (Measurement 3)

2.3 Обсуждение результатов

Результаты измерений показывают, что для осциллографа R&S®RTO1024 величина ENOB значительно превышает 6,4 во всей 2 ГГц полосе прибора. Для осциллографа R&S®RTO1012 во всей 1 ГГц полосе прибора значение ENOB превышает 6,7, а до частот приблизительно 900 МГц значение ENOB достигает 7,1. Данные эксперименты продемонстрировали несколько интересных эффектов, которые следует объяснить.

2.3.1 В чем причина проседания ENOB в диапазоне 400 МГц ... 1 ГГц?

В каждом измерении на вышеприведенных рисунках существует провал в значениях ENOB на частотах от 400 МГц до 1 ГГц. Причина этого в том, что VGA порождает более сильные гармоники с более высокими входными частотами. ENOB возрастает вновь для входных сигналов выше 1 ГГц, потому что гармоники данных сигналов ослаблены в ФНЧ входного каскада R&S®RTO. Таким образом, ENOB снова улучшается.

2.3.2 Что происходит с ENOB после номинальной полосы частот?

Номинальная полоса пропускания осциллографа R&S®RTO1024 менее 2 ГГц, а осциллографа R&S®RTO1012 менее 1 ГГц. Выше определенной частоты входные сигналы ослабляются НЧ-фильтрами входного каскада. Достижение 95% от предельного входного значения на экране осциллографа означает перегрузку VGA входным сигналом, что приводит к появлению чрезвычайно значительных гармонических составляющих, ввиду чего значение ENOB ухудшается.

2.3.3 Действительно ли использование опции R&S®ОСХО необходимо?

Для получения наиболее надежных результатов необходимо использовать внешний источник опорной частоты опции R&S®ОСХО. Тем не менее, хорошие приблизительные результаты могут быть получены и без нее, см. рисунок 6 (разница всего в 0,05 бита).

2.3.4 Влияние амплитуды входного сигнала

На рисунке 5 показано, что провал ENOB между 400 МГц и 1 ГГц для вертикальной шкалы в 500 мВ/дел меньше, чем для 50 мВ/дел. Это происходит из-за того, что VGA приходится усиливать меньше для большого входного сигнала. В результате образуется меньшее число гармоник, а, значит, обеспечивается лучшее значение ENOB.

2.3.5 ENOB более 7 для R&S®RTO1012!

На рисунке 9 показано, что для осциллографа R&S®RTO1012 (с номинальной полосой до 1 ГГц) значение ENOB приблизительно равно 7,1 вплоть до частоты около 900 МГц. Оно слегка проседает до 6,75 на частоте 1 ГГц. Почему данный результат лучше, чем результат для R&S®RTO1024? В обоих устройствах дискретизация производится со скоростью 10 млрд. отсчетов/с, разница заключается в полосе пропускания прибора. Осциллограф R&S®RTO1012 в своей небольшой полосе пропускания 1 ГГц (полоса пропускания R&S®RTO1024 составляет 2 ГГц) эффективно дискретизирует меньше шума и гармоник, что приводит к лучшему значению ENOB.

3 Литература

[1] IEEE Standard for Terminology and Test Methods for Analog-to-Digital Converters, IEEE Standard 1241-2010

[2] Цифровые запоминающие осциллографы R&S® RTO, Вершина искусства, брошюра изделия

[3] Цифровые запоминающие осциллографы R&S® RTO, Справочник команд дистанционного управления

4 Дополнительная информация

Данный документ может улучшаться или дополняться. Посетите, пожалуйста, [наш веб-сайт](#) для загрузки новых версий документа. Просим присылать любые комментарии и предложения касательно данного документа на электронный адрес TM-Applications@rohde-schwarz.com.

5 Информация для заказа

Наименование	Тип	Код заказа
Базовый модуль (в том числе следующие принадлежности: на канал: 500 МГц пассивный пробник напряжения (10:1), сумка для принадлежностей, краткое руководство по эксплуатации, компакт-диск с руководством, сетевой шнур)		
Цифровые осциллографы		
1 ГГц, 10 млрд. отсчетов/с, 20/40 млн. отсчетов, 2 канала	R&S®RTO1012	1316.1000.12
1 ГГц, 10 млрд. отсчетов/с, 20/80 млн. отсчетов, 4 канала	R&S®RTO1014	1316.1000.14
2 ГГц, 10 млрд. отсчетов/с, 20/40 млн. отсчетов, 2 канала	R&S®RTO1022	1316.1000.22
2 ГГц, 10 млрд. отсчетов/с, 20/80 млн. отсчетов, 4 канала	R&S®RTO1024	1316.1000.24

За дополнительной помощью обращайтесь в местное представительство компании Rohde & Schwarz.

О компании Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz представляет собой независимую группу компаний, специализирующуюся на производстве электронного оборудования. Rohde & Schwarz является ведущим поставщиком контрольно-измерительных систем и приборов, оборудования для теле- и радиовещания, систем радиомониторинга и радиопеленгации, а также систем профессиональной радиосвязи специального назначения. Rohde & Schwarz успешно работает уже 75 лет, представительства и сервисные центры компании находятся в более чем 70 странах. Головной офис компании расположен в Мюнхене, Германия.

Обязательства по охране окружающей среды

- Энергосберегающие изделия
- Постоянное улучшение экологической устойчивости
- Сертифицированная система экологического менеджмента ISO 14001



Контакты в регионах

США & Канада

США: 1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772) извне

США: +1 410 910 7800

CustomerSupport@rohde-schwarz.com

Восточная Азия

+65 65 13 04 88

CustomerSupport@rohde-schwarz.com

Другие регионы

+49 89 4129 137 74

CustomerSupport@rohde-schwarz.com

Данный документ и поставляемые программы могут применяться только при соблюдении условий, изложенных в области загрузки на веб-сайте Rohde & Schwarz.

R&S® является зарегистрированным товарным знаком компании Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. Товарные знаки и торговые марки принадлежат соответствующим владельцам.

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

Mühlendorfstraße 15 | D - 81671 München

Тел. + 49 89 4129 - 0 | Факс + 49 89 4129 - 13777

www.rohde-schwarz.com