

# АНАЛИЗАТОР СИГНАЛОВ FSUP КОМПАНИИ ROHDE&SCHWARZ

## SIGNAL SOURCE ANALYZER R&S FSUP

Современный этап развития телекоммуникационных технологий требует применения в передающей и приемной аппаратуре высококачественных опорных генераторов с низким уровнем фазовых шумов и побочных излучений. Фазовые шумы опорных генераторов, накладываясь на сигнал несущей в передатчиках или сигналы гетеродинов в приемниках, ограничивают пропускную способность каналов связи и дальность вещания.



Рис. 1. Анализатор источников сигналов FSUP

В радиолокации фазовые шумы опорного генератора снижают, к примеру, эффективность системы селекции движущихся целей, не позволяя выделить сигнал малозаметной низколетящей цели, который «тонет» в фазовых шумах сигнала подстилающей поверхности.

При измерении спектра фазовые шумы опорного генератора анализатора спектра снижают динамический диапазон и разрешающую способность при измерениях близких по частоте сигналов.

Кроме фазовых шумов интерес для разработчиков аппаратуры представляют и другие характеристики генераторов сигналов, такие как зависимость генерируемой частоты и мощности выходного сигнала от регулирующего напряжения или напряжения питания, крутизна регулировочной характеристики, длительность и форма переходной характеристики при включении генератора, уровень гармонических составляющих в выходном сигнале и другие характеристики.

Следовательно, создание совре-

менной телекоммуникационной, радиолокационной и радиоизмерительной техники невозможно без приборов, предназначенных для высокоточных измерений характеристик сигнальных генераторов.

Указанные задачи способен успешно решить анализатор источников сигналов FSUP, выпускаемый компанией Rohde&Schwarz (рис. 1). Прибор, по сути, объединяет в себе два самостоятельных прибора: анализатор спектра высшего класса FSU и анализатор источников сигналов.

Основные характеристики FSUP как анализатора спектра представлены в таблице 1.

Более подробную информацию о технических характеристиках прибора можно найти на сайте компании <http://www.rohde-schwarz.com>.

Прибор выпускается в трех модификациях: FSUP8, FSUP26 и FSUP50. Верхняя граница частотного диапазона достигает соответственно 8, 26 и 50 ГГц, а с внешними смесителями — 110 ГГц.

Наряду с функцией измерения спектра входных сигналов прибор в базовой комплектации обладает рядом дополнительных функций, присущих анализаторам высшего класса, таких как:

- измерение мощности в основном и соседних каналах приема;

Таблица 1

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ FSUP (АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА)

Частотные характеристики	
Диапазон частот	
R&S FSUP8	20 Гц...8 ГГц
R&S FSUP26	20 Гц...26,5 ГГц
R&S FSUP50	20 Гц...50 ГГц
Разрешение по частоте	0,01 Гц
Нестабильность частоты опорного генератора (за год)	до $5 \times 10^{-8}$
Время свипирования	1 мкс ... 16000 с
Полосы пропускания по уровню 3 дБ	10 Гц...20 МГц (ряд 1/2/3/5), 50 МГц
Полосы пропускания по уровню 6 дБ	200 Гц, 9 кГц, 120 кГц
Полосы БПФ-фильтров по уровню 3 дБ	1 Гц...30 кГц (ряд 1/2/3/5)
Полосы специальных канальных фильтров	100; 200; 300; 500 Гц; 1; 1,5; 2; 2,4; 2,7; 3; 3,4; 4; 4,5; 5; 6; 8,5; 9; 10; 12,5; 14; 15; 16; 18 (RRC); 20; 21; 24,3 (RRC); 25; 30; 50; 100; 150; 192; 200; 300; 500 кГц; 1; 1,2288; 1,28 (RRC); 1,5; 2; 3; 3,84 (RRC); 4,096 (RRC); 5 МГц
Характеристики измерения уровня	
Точка 1 дБ компрессии (входной аттенуатор 0 дБ)	+7 дБм...+13 дБм
Точка пересечения с продуктами интермодуляции 3 порядка (TOI) (два входных сигнала с уровнем -10 дБм)	+8 дБм...+22 дБм
Средний уровень собственных шумов в полосе 10 Гц (входной аттенуатор 0 дБ, согласованная нагрузка 50 Ом)	
все модели:	< -80 дБм
20 Гц	-100...-120 дБм
$100 \text{ Гц} \leq f < 10 \text{ кГц}$	-120...-143 дБм
$10 \text{ кГц} \leq f < 10 \text{ МГц}$	
R&S FSUP8	< -143 дБм
$20 \text{ МГц} \leq f < 2,0 \text{ ГГц}$	< -140 дБм
$2 \text{ ГГц} \leq f < 8 \text{ ГГц}$	
R&S FSUP26	< -142...-138 дБм
$20 \text{ МГц} \leq f < 18 \text{ ГГц}$	< -138...-135 дБм
$18 \text{ ГГц} \leq f < 26,5 \text{ ГГц}$	
R&S FSUP50	< -140...-138 дБм
$20 \text{ МГц} \leq f < 18 \text{ ГГц}$	< -138...-135 дБм
$18 \text{ ГГц} \leq f < 26,5 \text{ ГГц}$	< -128...-118 дБм
$26,5 \text{ ГГц} \leq f < 50 \text{ ГГц}$	
Предел допускаемой погрешности измерения абсолютного уровня при доверительной вероятности 95 % (от 0 дБ до -70 дБ, С/Ш > 20 дБ, температура 20 °С...30 °С, уровень сигнала на входе смесителя $\leq -10$ дБм)	
$f < 3,6 \text{ ГГц}$ , полоса ПЧ < 100 кГц	0,3 дБ
$f < 3,6 \text{ ГГц}$ , полоса ПЧ > 100 кГц	0,5 дБ
$3,6 \text{ ГГц} \leq f < 8 \text{ ГГц}$	2,0 дБ
$8 \text{ ГГц} \leq f < 18 \text{ ГГц}$	2,5 дБ
$18 \text{ ГГц} \leq f < 26,5 \text{ ГГц}$	3,0 дБ
$26,5 \text{ ГГц} \leq f < 40 \text{ ГГц}$	3,0 дБ
$40 \text{ ГГц} \leq f < 50 \text{ ГГц}$	3,5 дБ

- измерение интегральной функции распределения уровня сигнала;
- измерение отношения сигнал/шум;
- измерение занимаемой полосы частот принимаемого сигнала;
- измерение мощности принимаемого сигнала во временной области;
- измерение TOI и SHI;
- стробируемое свипирование и др.

Дополнительно в прибор могут быть установлены следующие аппаратные и программные опции (таблица 2).

В качестве анализатора источников сигнала FSUP решает следующие измерительные задачи:

- измерение фазовых шумов источников сигналов тремя методами: методом анализатора спектра, методом фазового детектора с внутренним или внешним опорным генератором, а также методом фазового детектора с перекрестной корреляцией;
- измерение уровня побочных излучений генераторов;
- измерение переходных характеристик генераторов;
- измерение регулировочных характеристик генераторов.

Измерение уровня фазовых шумов методом анализатора спектра основано на сканировании спектра входного сигнала внешнего генератора узкополосным фильтром анализатора спектра и обработке полученных данных согласно следующей формуле:

$$L(f_m) = P_0 - \left[ P_{noise, f_m} - 10 \times \log \left( \frac{B_{noise}}{Hz} \right) + D_{korr} \right], \quad (1)$$

где  $P_0$  — мощность несущей входного сигнала,  $P_{noise, f_m}$  — мощность фазовых шумов при частотной отстройке  $f_m$ ,  $B_{noise}$  — шумовая полоса пропускания узкополосного фильтра анализатора,  $D_{korr}$  — коэффициент корректировки.

Измерение фазовых шумов методом анализатора спектра имеет следующие преимущества: легкая и быстрая подготовка к измерениям, широкий диапазон частотных отстроек (от 10 Гц до 1 ГГц), параллельное измерение уровня гармоник, побочных излучений и уровня просачивания мощности в соседние каналы, прямые измерения фазовых шумов при незначительном уровне амплитудных.

Однако указанный метод имеет целый ряд принципиальных ограничений: невозможность разделить фазовые и амплитудные шумы генератора, ограничение динамического диапазона измерений уровнем фазовых шумов опорного генератора и тепловыми шумами прибора, невозможность измерения фазовых шумов при малых отстройках (менее 10 Гц) из-за просачивания сигнала несущей в полосу пропускания анализатора.

Последнее ограничение особенно значимо, учитывая стремление к увеличению пропускной способности каналов связи путем частотного и амплитудно-фазового уплотнения используемых

Описание опции	Обозначение опции	Примечание
Термостатированный опорный генератор	R&S FSU-B4	
Управление внешними генераторами	R&S FSP-B10	
LO/IF порты для внешних смесителей	R&S FSU-B21	Только для FSUP26 и FSUP50
20 дБ предусилитель, 3,6 ГГц...26,5 ГГц	R&S FSU-B23	Только для FSUP26, требует опции FSU-B25
Электронный аттенуатор 0 дБ...30 дБ и предусилитель 20 дБ до 3,6 ГГц	R&S FSU-B25	
Измерение фазовых шумов методом кросс-корреляции	R&S FSU-B60	
Измерительный частотный детектор	R&S FS-K7	
Измерение мощности сигнала	R&S FS-K9	
Измерение коэффициента шума и коэффициента усиления	R&S FS-K30	

сигналов. Измерение фазовых шумов методом фазового детектора позволяет преодолеть этот недостаток. Основная идея метода заключается в «вырезании» сигнала несущей из спектра тестируемого источника сигнала путем подачи на вход фазового детектора опорного сигнала той же частоты, что и несущая, но задержанного

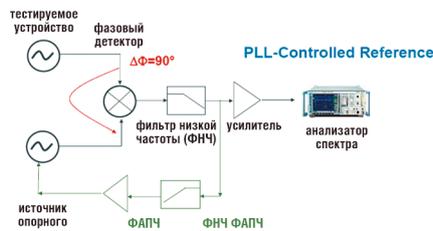


Рис. 2. Структурная схема измерений фазовых шумов методом фазового детектора

по фазе на 90 градусов. Опорный сигнал формируется при помощи высокостабильного вспомогательного генератора, управляемого петлей ФАПЧ с узким (до единиц герц) фильтром низкой частоты. Структурная схема измерительной установки показана на рисунке 2.

$$U_{IF} = K(A_R, A_S) \times \{ \sin[2\pi(f_S - f_R)t + \Delta\phi(t)] + \sin[2\pi(f_S + f_R)t + \Delta\phi(t)] \}. \quad (3)$$

Предположив, что  $f_R = f_S$ , сигнал после прохождения ФНЧ можно представить

$$U_{IF} = K(A_R, A_S) \times \sin[\Delta\phi(t)] \quad (4)$$

При малых частотных отстройках  $U_{IF} = K(A_R, A_S) \times \Delta\phi(t)$ .

Таким образом, сигнал на выходе фазового детектора при малых частотных отстройках пропорционален фазовым шумам входного сигнала.

Преимуществами метода фазового детектора являются: возможность измерения фазовых шумов при малых частотных отстройках, большой динамический диапазон измерений фазовых шумов из-за подавления несущей, возможность измерения «чистых» фазовых шумов (подавление амплитудных шумов на 30...40 дБ), возможность использования в качестве вспомогательного опорного генератора внешнего генератора с лучшими характеристиками, чем опорный генератор прибора.

Значения чувствительности прибора при измерениях уровня фазовых шумов методом фазового детектора представлены в таблице 3.

Частотная отстройка	Входная частота, значения в дБс (в полосе 1 Гц)							
	10 МГц	100 МГц	1 ГГц	1,6 ГГц	3 ГГц	10 ГГц	18 ГГц	26 ГГц
1 Гц	-100	-80	-60	-55	-50,5	-40	-35	-32
10 Гц	-130	-110	-90	-85	-80,5	-70	-65	-62
100 Гц	-151	-131	-111	-106	-101,5	-91	-86	-83
1 кГц	-165	-148	-128	-123	-118,5	-108	-103	-100
10 кГц	-165	-154	-134	-129	-124,5	-114	-109	-106
100 кГц	-165	-160	-144	-139	-134,5	-124	-119	-116
1 МГц	-165	-168	-164	-159	-154,5	-144	-139	-136
10 МГц	—	-170	-170	-165	-165	-160	-160	-160
30 МГц	—	-170	-170	-165	-165	-160	-160	-160

\* — предельная погрешность измерения относительного уровня фазовых шумов лежит в границах 1...3 дБ.

Суть метода объясняется следующим образом: сигнал на входе смесителя от тестируемого источника  $U_S(t)$  и вспомогательного опорного генератора  $U_R(t)$  можно представить:

$$\begin{aligned} U_S(t) &= A_S \times \sin[2\pi f_S t + \Delta\phi(t)], \\ U_R(t) &= A_R \times \cos[2\pi f_R t]. \end{aligned} \quad (2)$$

Сигнал на выходе смесителя будет иметь вид

Чувствительность измерений в этом случае ограничивается фазовыми шумами вспомогательного опорного генератора. Дальнейшее увеличение чувствительности измерений можно достичь, используя метод фазового детектора с кросс-корреляцией, который также реализован в приборе. Структурная схема метода представлена на рисунке 3.

В этом случае используются два вспомогательных опорных генератора, фазовый шум которых некоррелирован и компенсируется после корреляционной обработки. Используя режим накопления, можно добиться увеличения чувствительности до 20 дБ при количестве усреднений  $10^4$ .

Метод фазового детектора имеет свои недостатки. В частности, про-

рядить целый ряд важных характеристик генераторов:

- зависимость частоты, скорости изменения частоты и мощности генерируемого сигнала от управляющего напряжения;
- зависимость частоты, скорости изменения частоты и мощности генерируемого сигнала от напряжения питания;
- переходные процессы;

измерений внешним ПК, что выгодно отличает FSUP от аналогичных изделий других производителей. Прибор, по сути, представляет собой компьютер под управлением Windows XP, который управляет измерительной аппаратной частью и выполняет обработку результатов измерений. Применение большого количества специализированных интегральных схем позволило проводить оцифровку и обработку сигналов на промежуточной частоте, что обуславливает высокую стабильность параметров прибора и, как следствие, превосходные метрологические характеристики. Встроенный жесткий диск емкостью 30 Гбайт обеспечивает долговременное хранение измерительной информации, внешние интерфейсы GPIB, LAN, USB, RS-232C, PS/2, Centronics, D-sub

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИСТОЧНИКОВ

Таблица 4

Характеристика	Выходы питания 1 и 2	Дополнительный выход питания	Выходы регулировочного напряжения
Пределы напряжения	0...12 В	-10...0 В	-10...28 В
Точность установки	<0,4%	<0,4%	<0,2%
Максимальный ток	500 мА	500 мА	20 мА
Предельная погрешность измерения тока	2%	2%	2%
Уровень тепловых шумов на 10 кГц	<10 нВ/Гц	<20 нВ/Гц	<1 нВ/Гц

цесс настройки измерительной схемы весьма сложен, диапазон частотных отстройек не превышает 30 МГц, невозможно измерять другие параметры, такие как уровень гармоник, побочных излучений и др., поэтому сочетание описанных выше методов измерения фазовых шумов, которые реализованы в анализаторах FSUP, дополняют друг друга и позволяют полностью охарактеризовать спектральные характеристики сигналов тестируемых источников.

Кроме измерения спектральных характеристик прибор позволяет изме-

- зависимость потребляемой мощности (тока) исследуемого генератора от входных напряжений;
- измерение уровня побочных и гармонических (до десятой гармоники) составляющих полезного сигнала.

Все эти зависимости могут отображаться на экране прибора одновременно.

Для реализации вышеназванных функций на лицевой панели прибора имеются выходы трех прецизионных источников питания и двух источников регулировочного напряжения. Основные параметры источников представлены в таблице 4.

ны в таблице 4.

Помимо регулировочных характеристик генераторов прибор позволяет измерять переходные процессы: зависимость частоты, фазы, напряжения или мощности генерируемого сигнала от времени, прошедшего от момента подачи входных напряжений. При этом максимальное число записываемых отсчетов достигает 131200, полоса анализа — от 100 Гц до 30 МГц, а время записи реализации переходного процесса — от 2 мс до 1069 с.

Следует отметить, что разработчики прибора сумели разместить все описанные функции в одном корпусе, а для реализации измерительных возможностей прибора не требуется управления и обработки результатов

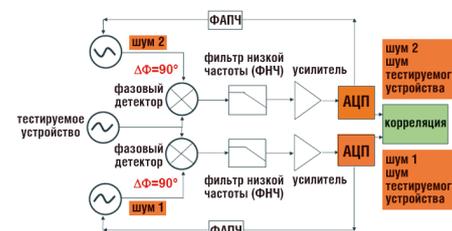


Рис. 3. Структурная схема измерений фазовых шумов методом фазового детектора с кросс-корреляцией

позволяют подключать практически любые внешние устройства управления и обмена информацией. Большой жидкокристаллический TFT дисплей с разрешением 800×600 точек с широким углом обзора способствует удобству работы оператора.

Таким образом, новый анализатор сигналов FSUP компании Rohde & Schwarz, сочетая в себе функциональность анализатора спектра высшей категории и уникальные возможности измерителя параметров сигналов, превосходит аналогичные изделия других производителей по большинству параметров и является новым стандартом для приборов этого класса.

*The Signal Source Analyzer R&S FSUP offers the user a high-end spectrum analyzer, combined with a phase noise tester based on the PLL method. In addition, the R&S FSUP is equipped with two independent, very low-noise DC ports. With the functionality of a phase noise tester, time domain and spectrum analyzer combined into a single, the R&S FSUP is the optimum instrument for development and production.*

## ЧАСТОТОМЕРЫ ЭЛЕКТРОННО-СЧЕТНЫЕ С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ЧЗ-83, ЧЗ-83/1



- Измерение временных характеристик синусоидальных и импульсных сигналов в диапазоне частот до 2,4 ГГц.
- Измерение проводится по трем каналам, два из которых имеют одинаковый частотный диапазон, что позволяет одновременно работать с двумя источниками сигнала и вычислять их соотношения.
- Измерение ухода частоты за период измерения.
- Измерение длительности и скважности импульсов.
- Подсчет количества импульсов за период измерения.
- Выдача высокостабильного сигнала опорной частоты.
- Высокая точность измерений, обеспечиваемая термостабилизированным опорным генератором ( $1,0 \times 10^{-8}$  для модели ЧЗ-83).
- Высокоинформативный графический дисплей и интуитивно понятные органы управления.
- Интерфейс RS-232C.
- Программное обеспечение позволяет создавать массивы данных для последующего анализа.

**РАДИО-СЕРВИС**  
научно-производственная фирма

426033, г. Ижевск, а/я 4579, ул. Пушкинская, 268  
тел: (3412) 43-91-44, факс: (3412) 43-92-63  
e-mail: office@radio-service.ru, www.radio-service.ru