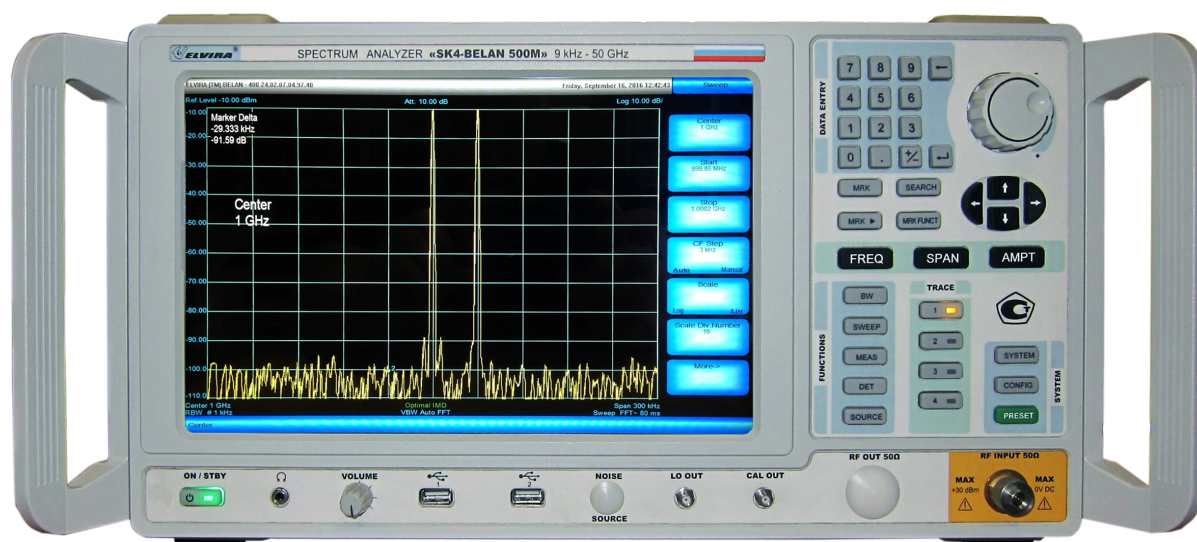




Анализаторы спектра СК4-БЕЛАН 240М, СК4-БЕЛАН 400М, СК4-БЕЛАН 500М

Руководство по эксплуатации ЕЛКБ. 411168.188РЭ

Версия v.2.01 от 16/04/2019



1. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ	4
1.1. Назначение средства измерений	4
1.2. Описание средства измерений	4
1.3. Перечень устанавливаемых опций	5
1.4. Программное обеспечение	5
1.5. Метрологические и технические характеристики	5
1.6. Знак утверждения типа	8
1.7. Комплектность средства измерений	8
1.8. Поверка средства измерений	8
1.9. Сведения о нормативных документах	9
1.10. Маркирование и пломбирование	9
1.11. Указания мер безопасности	9
2. ЭКСПЛУАТАЦИЯ	10
2.1. Общие указания по введению в эксплуатацию	10
2.2. Компоновка передней панели	11
2.3. Элементы сенсорного экрана	12
2.4. Секция функциональных клавиш	13
2.5. Секция клавиш ввода данных	13
2.6. Секция органов изменения данных	14
2.7. Секция клавиш основных параметров	14
2.8. Секция маркерных клавиш	15
2.9. Секция клавиш управления графиками	15
2.10. Разъемы на передней панели – часть 1	16
2.11. Разъемы на передней панели – часть 2	16
2.12. Компоновка задней панели	17
2.13. Включение прибора	18
2.14. Выключение прибора	18
2.15. Работа с меню и ввод данных	19
2.16. Установка частоты	20
2.17. Установка полосы обзора	23
2.18. Контроль амплитудных параметров	25
2.19. Управление маркером	31
2.20. Регулировка полосы пропускания и усреднение	39
2.21. Управление графиками	43
2.22. Управление разверткой	46
2.23. Автоматические измерения	51

2.24. Измерение частоты в режиме счетчика	53
2.25. Измерение девиации	54
2.26. Измерение ширины полосы, занимаемой сигналом	56
2.27. Измерение мощности в канале	57
2.28. Измерение мощности в соседнем канале	59
2.29. Измерение гармонических искажений	61
2.30. Измерение глубины АМ	63
2.31. Измерения модуля коэффициента передачи и отражения при помощи следящего генератора. Общие сведения	65
2.31.1. Измерение модуля коэффициента передачи и отражения с опцией 002.	66
2.31.2. Измерение модуля коэффициента передачи и отражения с опцией 020.	77
2.32. Измерение коэффициента шума. Общие сведения.	82
2.32.1. Измерение коэффициента шума усилителей при помощи интерактивной системы Noise Figure Measurement Wizard.	87
2.32.2. Измерение коэффициента шума устройств с переносом частоты при помощи интерактивной системы Noise Figure Measurement Wizard.	105
2.32.2.1. Конфигурирование измерений даунконверторов.	109
2.32.2.2. Пример измерения даунконвертора.	118
2.32.2.3. Конфигурирование измерений апконверторов.	120
2.32.2.4. Пример измерения апконвертора.	123
2.32.3. Практические рекомендации для повышения точности измерений коэффициента шума.	125
2.33. Измерение фазовых шумов	127
2.34. Измерение интермодуляционных искажений	140
2.35. Выбор детектора и демодулятора	144
2.36. Контроль состояния прибора	148
2.37. Сохранение файлов и работа с системным меню	149
3. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ	152
4. ГАРАНТИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ	152

1. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Настоящее руководство по эксплуатации предназначено для изучения технических возможностей, особенностей конструкции и правил эксплуатации анализаторов спектра «СК4-БЕЛАН 240М», «СК4-БЕЛАН 400М», «СК4-БЕЛАН 500М».

ВНИМАНИЕ!

**Сигнал на входе прибора не должен превышать 1 Вт (+30 дБм).
В противном случае возможен выход прибора из строя.**

1.1. Назначение средства измерений

Анализаторы спектра СК4-БЕЛАН 240М, СК4-БЕЛАН 400М, СК4-БЕЛАН 500М предназначены для измерения параметров спектра высокочастотных радиотехнических сигналов в диапазонах частот от 9 кГц (опционально от 10 Гц) до 24 ГГц, 40 ГГц и 50 ГГц.

1.2. Описание средства измерений

Анализаторы выполнены по схеме последовательно-параллельного типа. Принцип работы анализаторов основан на супергетеродинном переносе исследуемого сигнала на промежуточную частоту и его последующей обработке с помощью аналогово-цифрового преобразователя с широкой мгновенной полосой анализа.

В качестве гетеродинов используются синтезированные генераторы качающейся частоты с низким уровнем спектральной плотности мощности фазовых шумов, синхронизируемые при помощи встроенного термостатированного опорного генератора или от внешнего источника сигнала.

Для подавления гармонических и комбинационных искажений на частотах свыше 3 ГГц в анализаторах используется перестраиваемый термостатированный преселектор на резонаторах из железо-иттриевого граната. Для исследования и демодуляции сигналов с широкой мгновенной полосой анализа преселектор может быть опционально отключен. В анализаторах стандартной комплектации реализовано два режима тракта преобразования частоты: режим минимальных шумов (Optimal Noise) и режим максимальной линейности (Optimal IMD). Режим минимальных шумов отличается большим усилением и оптимизирован для достижения максимальной чувствительности, режим максимальной линейности предназначен для достижения минимальных гармонических, комбинационных и интермодуляционных искажений.

Для измерения коэффициента шума в приборы может опционально устанавливаться отключаемый МШУ (малошумящий усилитель). Для измерения модуля коэффициента передачи и отражения четырехполюсников в приборы может опционально устанавливаться встроенный следящий генератор.

Входной сигнал после преобразования отображается на цветном сенсорном экране в виде спектрограммы, параметры которой задаются управлением с лицевой панели и сенсорного экрана, либо дистанционно через внешний интерфейс.

Внешнее управление может осуществляться через интерфейсы LAN, GPIB, RS-232, разъемы которых находятся на задней панели. Для подключения периферийных устройств имеются слоты интерфейса USB на передней и задней панелях.

Модели СК4-БЕЛАН 240М, СК4-БЕЛАН 400М, СК4-БЕЛАН 500М отличаются верхней границей частотного диапазона.

Анализаторы спектра СК4-БЕЛАН 240М, СК4-БЕЛАН 400М по условиям эксплуатации соответствуют группе 1 ГОСТ 22261-94.

1.3. Перечень устанавливаемых опций

В дополнение к стандартному исполнению при заказе на заводе могут быть установлены опции, перечень которых приводится в Таблице 1.

Таблица 1

002	встроенный следящий генератор с диапазоном частот от 10 МГц до 3 ГГц
003	программное обеспечение для измерения фазовых шумов
006	программное обеспечение для измерения коэффициента шума усилителей модуляционным методом (Y-фактор) с применением внешнего генератора шума
020	встроенный следящий генератор с диапазоном частот от 10 МГц до 3 ГГц и встроенный мост для измерения обратных потерь (КСВН)
030	пониженный уровень фазовых шумов и побочных (негармонических) спектральных составляющих в диапазоне частот от 10 МГц до 3 ГГц (включает опцию 003)
005	МШУ с диапазоном частот от 10 МГц до 3 ГГц
052	МШУ с диапазоном частот от 10 МГц до 24 ГГц (для СК4-БЕЛАН 240М)
054	МШУ с диапазоном частот от 10 МГц до 40 ГГц (для СК4-БЕЛАН 400М)
055	МШУ с диапазоном частот от 10 МГц до 50 ГГц (для СК4-БЕЛАН 500М)
072	расширение нижней границы частотного диапазона до 10 Гц (для СК4-БЕЛАН 240М)
074	расширение нижней границы частотного диапазона до 10 Гц (для СК4-БЕЛАН 400М)
075	расширение нижней границы частотного диапазона до 10 Гц (для СК4-БЕЛАН 500М)
082	возможность отключения преселектора (для СК4-БЕЛАН 240М)
084	возможность отключения преселектора (для СК4-БЕЛАН 400М)
085	возможность отключения преселектора (для СК4-БЕЛАН 500М)
090	набор фильтров нижних частот и полосовых фильтров

1.4. Программное обеспечение

Программное обеспечение, установленное на встроенный компьютер, работает под управлением операционной среды Windows, его метрологически значимая часть выполняет функции управления параметрами отображения и обработки измерительной информации.

Уровень защиты программного обеспечения от непреднамеренных и преднамеренных изменений «низкий» по Р 50.2.077-2014. Идентификационные данные программного обеспечения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование	СК4-БЕЛАН
Номер версии (идентификационный номер)	V24.02 и выше

1.5. Метрологические и технические характеристики

Сведения о метрологических и технических характеристиках прибора приводятся в Таблице 3.

Таблица 3

диапазон частот	
СК4-БЕЛАН 240М (режим Optimal Noise)	от 10 МГц до 24 ГГц
СК4-БЕЛАН 240М (режим Optimal IMD)	от 9 кГц до 24 ГГц
СК4-БЕЛАН 240М (режим Optimal IMD + опция 072)	от 10 Гц до 24 ГГц
СК4-БЕЛАН 400М (режим Optimal Noise)	от 10 МГц до 40 ГГц
СК4-БЕЛАН 400М (режим Optimal IMD)	от 9 кГц до 40 ГГц
СК4-БЕЛАН 400М (режим Optimal IMD + опция 074)	от 10 Гц до 40 ГГц
СК4-БЕЛАН 500М (режим Optimal Noise)	от 10 МГц до 50 ГГц
СК4-БЕЛАН 500М (режим Optimal IMD)	от 9 кГц до 50 ГГц
СК4-БЕЛАН 500М (режим Optimal IMD + опция 075)	от 10 Гц до 50 ГГц
разрешение по частоте	1 Гц
пределы допускаемой погрешности частоты опорного генератора в рабочем диапазоне температур при выпуске из производства и после заводской подстройки	$\pm 1 \cdot 10^{-8}$

пределы допускаемого дрейфа частоты опорного генератора за 1 год		$\pm 1 \cdot 10^{-7}$
вход внешней синхронизации	частота сигнала уровень сигнала	10 МГц $\pm$ 2 Гц от -5 до +5 дБм
выход сигнала внутреннего опорного генератора	частота сигнала уровень сигнала	10 МГц от 0 до + 5 дБм
полоса обзора		0; от 20 Гц до верхней частоты диапазона
полоса пропускания		
по уровню – 3 дБ, с шагом 1-3		от 1 Гц до 300 кГц
по уровню – 6 дБ		200 Гц; 9 кГц; 120 кГц, 1 МГц; 3 МГц
коэффициент прямоугольности фильтров (60 дБ/3 дБ), не более		5:1
полоса видеофильтра (с шагом, кратным 10)		от 10 Гц до 100 кГц
уровень фазовых шумов, не более		
на частоте 1 ГГц (стандартное исполнение)		
	при отстройке на 10 кГц	– 125 дБн/Гц
	при отстройке на 1 МГц	– 135 дБн/Гц
на частоте 1 ГГц (опция 030)		
	при отстройке на 10 кГц	– 138 дБн/Гц
	при отстройке на 1 МГц	– 145 дБн/Гц
на частоте 10 ГГц		
	при отстройке на 10 кГц	– 120 дБн/Гц
	при отстройке на 1 МГц	– 130 дБн/Гц
на частоте 20 ГГц		
	при отстройке на 10 кГц	– 115 дБн/Гц
	при отстройке на 1 МГц	– 120 дБн/Гц
максимальный уровень измеряемой мощности		+ 30 дБм
диапазон установки опорного уровня		от – 100 до + 30 дБм
диапазон ослабления входного аттенюатора (ступенями по 10 дБ)		от 0 до 70 дБ
пределы допускаемой погрешности измерения уровня мощности от – 30 до 0 дБм на частоте 100 МГц (ослабление аттенюатора 10 дБ)		$\pm 0,3$ дБ
погрешность измерения уровня, связанная с переключением ослабления аттенюатора, на частотах F, не более		
	$9 \text{ кГц} \leq F \leq 3 \text{ ГГц}$	$\pm 0,5$ дБ
	$3 \text{ ГГц} < F \leq 24 \text{ ГГц}$	$\pm 1,5$ дБ
	$24 \text{ ГГц} < F \leq 40 \text{ ГГц}$	$\pm 2,0$ дБ
	$40 \text{ ГГц} < F \leq 50 \text{ ГГц}$	$\pm 2,5$ дБ
неравномерность амплитудно-частотной характеристики на частотах F относительно уровня на частоте 100 МГц (ослабление аттенюатора 10 дБ), не более		
	$9 \text{ кГц} \leq F \leq 10 \text{ МГц}$	$\pm 1,5$ дБ
	$10 \text{ МГц} < F \leq 3 \text{ ГГц}$	$\pm 0,5$ дБ
	$3 \text{ ГГц} < F \leq 10 \text{ ГГц}$	$\pm 1,5$ дБ
	$10 \text{ ГГц} < F \leq 24 \text{ ГГц}$	$\pm 2,0$ дБ
	$24 \text{ ГГц} < F \leq 40 \text{ ГГц}$	$\pm 3,0$ дБ
	$40 \text{ ГГц} < F \leq 50 \text{ ГГц}$	$\pm 3,5$ дБ
диапазон вертикальной шкалы дисплея		от 1 до 14 делений
масштаб вертикальной логарифмической шкалы дисплея		от 0,01 до 20 дБ/дел.
погрешность измерения уровня P, связанная с нелинейностью логарифмической шкалы, не более		
для уровней $-40 \text{ дБм} < P \leq 0 \text{ дБм}$		$\pm 0,3$ дБ
для уровней $-70 \text{ дБм} < P \leq 40 \text{ дБм}$		$\pm 0,5$ дБ
для уровней $-100 \text{ дБм} \leq P \leq -70 \text{ дБм}$		$\pm 0,6$ дБ
усредненный уровень собственных шумов, нормализованный к полосе пропускания 1 Гц, на частотах F при ослаблении аттенюатора 0 дБ, не более		
стандартное исполнение, режим минимальных шумов (Optimal Noise)		
	$10 \text{ МГц} \leq F \leq 1 \text{ ГГц}$	-155 дБм
	$1 \text{ ГГц} < F \leq 3 \text{ ГГц}$	-150 дБм
	$3 \text{ ГГц} < F \leq 10 \text{ ГГц}$	-150 дБм

10 ГГц < F ≤ 24 ГГц	-145 дБм
24 ГГц < F ≤ 45 ГГц	-140 дБм
45 ГГц < F ≤ 50 ГГц	-135 дБм
установлены опции 005, 052, 054, 055, МШУ выключен, режим минимальных шумов (Optimal Noise)	
10 МГц ≤ F ≤ 1 ГГц	-154 дБм
1 ГГц < F ≤ 3 ГГц	-149 дБм
3 ГГц < F ≤ 10 ГГц	-148 дБм
10 ГГц < F ≤ 24 ГГц	-143 дБм
24 ГГц < F ≤ 45 ГГц	-137 дБм
45 ГГц < F ≤ 50 ГГц	-132 дБм
стандартное исполнение, режим максимальной линейности (Optimal IMD)	
9 кГц ≤ F ≤ 100 кГц	-115 дБм
100 кГц < F ≤ 1 МГц	-135 дБм
1 МГц < F ≤ 10 МГц	-140 дБм
10 МГц < F ≤ 1 ГГц	-150 дБм
1 ГГц < F ≤ 3 ГГц	-145 дБм
3 ГГц < F ≤ 10 ГГц	-143 дБм
10 ГГц < F ≤ 24 ГГц	-138 дБм
24 ГГц < F ≤ 45 ГГц	-135 дБм
45 ГГц < F ≤ 50 ГГц	-130 дБм
установлены опции 005, 052, 054, 055, МШУ выключен, режим максимальной линейности (Optimal IMD)	
9 кГц ≤ F ≤ 100 кГц	-114 дБм
100 кГц < F ≤ 1 МГц	-134 дБм
1 МГц < F ≤ 10 МГц	-139 дБм
10 МГц < F ≤ 1 ГГц	-149 дБм
1 ГГц < F ≤ 3 ГГц	-144 дБм
3 ГГц < F ≤ 10 ГГц	-141 дБм
10 ГГц < F ≤ 24 ГГц	-136 дБм
24 ГГц < F ≤ 45 ГГц	-132 дБм
45 ГГц < F ≤ 50 ГГц	-127 дБм
установлены опции 005, 052, 054, 055, МШУ включен	
10 МГц ≤ F ≤ 2 ГГц	-167 дБм
2 ГГц < F ≤ 3 ГГц	-166 дБм
3 ГГц < F ≤ 18 ГГц	-165 дБм
18 ГГц < F ≤ 24 ГГц	-163 дБм
24 ГГц < F ≤ 45 ГГц	-160 дБм
45 ГГц < F ≤ 50 ГГц	-156 дБм
уровень гармонических искажений второго порядка на частотах F (режим максимальной линейности (Optimal IMD), уровень сигнала на смесителе ≤ -20 дБм), не более	
10 МГц ≤ F ≤ 6 ГГц	-60 дБн
6 ГГц < F ≤ 20 ГГц	-70 дБн
20 ГГц < F ≤ 50 ГГц	-60 дБн
уровень интермодуляционных искажений третьего порядка (режим максимальной линейности (Optimal IMD), на входе двухтональный сигнал с разностью частот 30 кГц и уровнем -20 дБм, ослабление аттенюатора 0 дБ), не более	
частота 1 ГГц	-80 дБн
уровень помех, не связанных с входом (режим максимальной линейности (Optimal IMD), согласованная нагрузка, ослабление аттенюатора 0 дБ), не более	-100 дБм
уровень негармонических помех, связанных с входом (режим максимальной линейности (Optimal IMD), уровень на входе 0 дБм, ослабление аттенюатора 0 дБ, полоса обзора ≤ 1 ГГц), типовое значение, не более	-70 дБн
тип высокочастотных соединителей	
СК4-БЕЛАН 240М	N-тип (гнездо), 50 Ом
СК4-БЕЛАН 400М	2,92 мм (штекер), 50 Ом
СК4-БЕЛАН 500М	1,85 мм (штекер), 50 Ом
КСВН входа при ослаблении аттенюатора не менее 10 дБ, типовое значение, не более	2,0
ВСТРОЕННЫЙ СЛЕДЯЩИЙ ГЕНЕРАТОР (опция 002, 020)	

диапазон частот	опции 002, 020	от 10 МГц до 3 ГГц
уровень мощности на выходе	опция 002	от – 5 до + 5 дБм
	опция 020	от – 50 до + 3 дБм
тип высокочастотного выходного соединителя		N-тип (гнездо); 50 Ом
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ		
размер дисплея		260 мм x 160 мм
разрешение дисплея, пиксель		1280 x 800
габаритные размеры (ширина x высота x глубина), мм		
базовое исполнение		464 x 250 x 537
исполнение для стойки		444 x 240 x 428
масса, не более		
СК4-БЕЛАН 240М		32 кг
СК4-БЕЛАН 400М/500М		35 кг
параметры электропитания		
напряжение сети		(220 ± 22) В
частота сети		(50 ± 0,5) Гц
потребляемая мощность, не более		610 Вт
рабочие условия применения		
температура окружающей среды		от + 15 до + 30 °С
относительная влажность воздуха		от 30 до 80 %
атмосферное давление		от 84 до 106 кПа
условия транспортирования и хранения		
температура окружающей среды		от – 25 до + 55 °С
относительная влажность воздуха		от 30 до 80 %
электромагнитная совместимость		по ГОСТ Р 51522-99
безопасность		по ГОСТ Р 52319-2005

1.6 Знак утверждения типа

Знак утверждения типа наносится на переднюю панель корпуса анализаторов в виде наклейки и на титульный лист руководства по эксплуатации типографским способом.

1.7 Комплектность средства измерений

Таблица 4

наименование и обозначение	кол-во
анализатор спектра СК4-БЕЛАН 240М / СК4-БЕЛАН 400М / СК4-БЕЛАН 500М	1 шт.
опции	по заказу
кабель сетевой	1 шт.
паспорт ЕЛКБ. 411168.188ПС	1 шт.
руководство по эксплуатации ЕЛКБ. 411168.188РЭ	1 шт.
методика поверки РТ-МП-5870-441-2019	1 шт.
гарантийный талон	1 шт.
упаковочная коробка	1 шт.
дополнительные принадлежности	по заказу

1.8. Поверка средства измерений

Поверка средства измерений осуществляется по документу РТ-МП-5870-441-2019 «ГСИ. Анализаторы спектра СК4-БЕЛАН 240М, СК4-БЕЛАН 400М, СК4-БЕЛАН 500М. Методика поверки», утвержденному ФБУ «Ростест-Москва» 27.05.2019 г. Интервал между поверками – 1 год.

Основные средства поверки:

- стандарт частоты рубидиевый FS725, регистрационный номер 31222-06;
- генератор сигналов SMA100B с опциями B112, B711, регистрационный номер 68980-17;
- генератор сигналов E8257D с опцией 550, регистрационный номер 53941-13;
- ваттметр поглощаемой мощности NRP-Z56, регистрационный номер 43642-10;
- аттенуатор ступенчатый R&S RSC модель 103; регистрационный номер 4836811.

Допускается применение аналогичных средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых средств измерений с требуемой точностью.

Знак поверки наносится переднюю панель корпуса анализаторов в виде наклейки (место нанесения показано на рисунке 1) и/или на свидетельство о поверке.

1.9. Сведения о нормативных документах

Нормативные документы, устанавливающие требования к анализаторам спектра

СК4-БЕЛАН 240М, СК4-БЕЛАН 400М, СК4-БЕЛАН 500М

ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты (приказ Росстандарта от 31.07.2018 г. № 1621)

ГОСТ Р 8.562-2007. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений мощности и напряжения переменного тока синусоидальных электромагнитных колебаний

1.10. Маркирование и пломбирование

Наименование, условное обозначение и товарный знак предприятия-изготовителя анализатора спектра приведены в эксплуатационной документации и нанесены на передней панели.

Серийный номер нанесен на задней панели прибора.

Анализатор пломбируется мастичными пломбами. Пломбирование осуществляется на задней стенке прибора в местах крепления верхней и нижней крышек корпуса.

1.11. Указания мер безопасности

По требованиям электробезопасности анализатор относится к классу защиты 1.

К работе с прибором допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с электро- и радиоизмерительными приборами.

В случае использования анализатора с другими приборами необходимо соединить их корпуса с зануленным зажимом питающей сети.

Вскрывать корпус анализатора, включенного в сеть, запрещается.

2. ЭКСПЛУАТАЦИЯ

2.1. Общие указания по введению в эксплуатацию

При получении прибора вынуть его из упаковки и провести внешний осмотр.

Если прибор перед вскрытием находился в условиях, отличных от рабочих, то необходимо выдержать его в сухом теплом помещении в нормальных условиях не менее 12 часов.

При внешнем осмотре необходимо проверить:

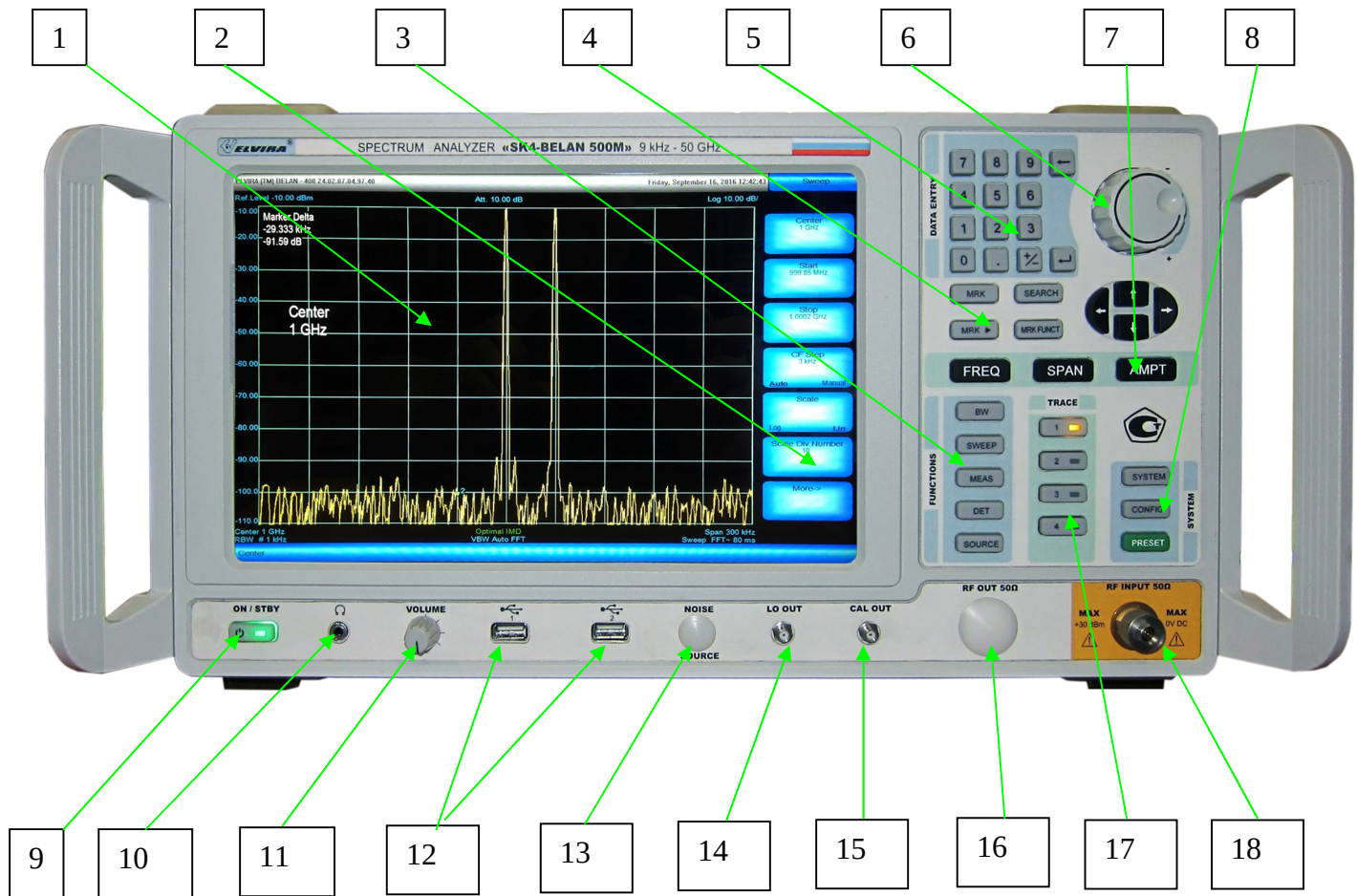
- сохранность пломб;
- комплектность;
- отсутствие видимых механических повреждений;
- наличие и прочность крепления органов управления и коммутации, четкость фиксации их положений, плавность вращения ручки настройки;
- чистоту соединителей;
- состояние сетевого шнура;
- состояние покрытий и маркировки;
- отсутствие незакрепленных элементов внутри корпуса (на слух при наклоне корпуса).

При эксплуатации вентиляционные отверстия на корпусе не следует закрывать посторонними предметами.

Нормальная работа прибора обеспечивается при соответствии внешних условий рабочим условиям эксплуатации, а также при отсутствии на рабочем месте ударов и вибраций.

2.2. Компоновка передней панели

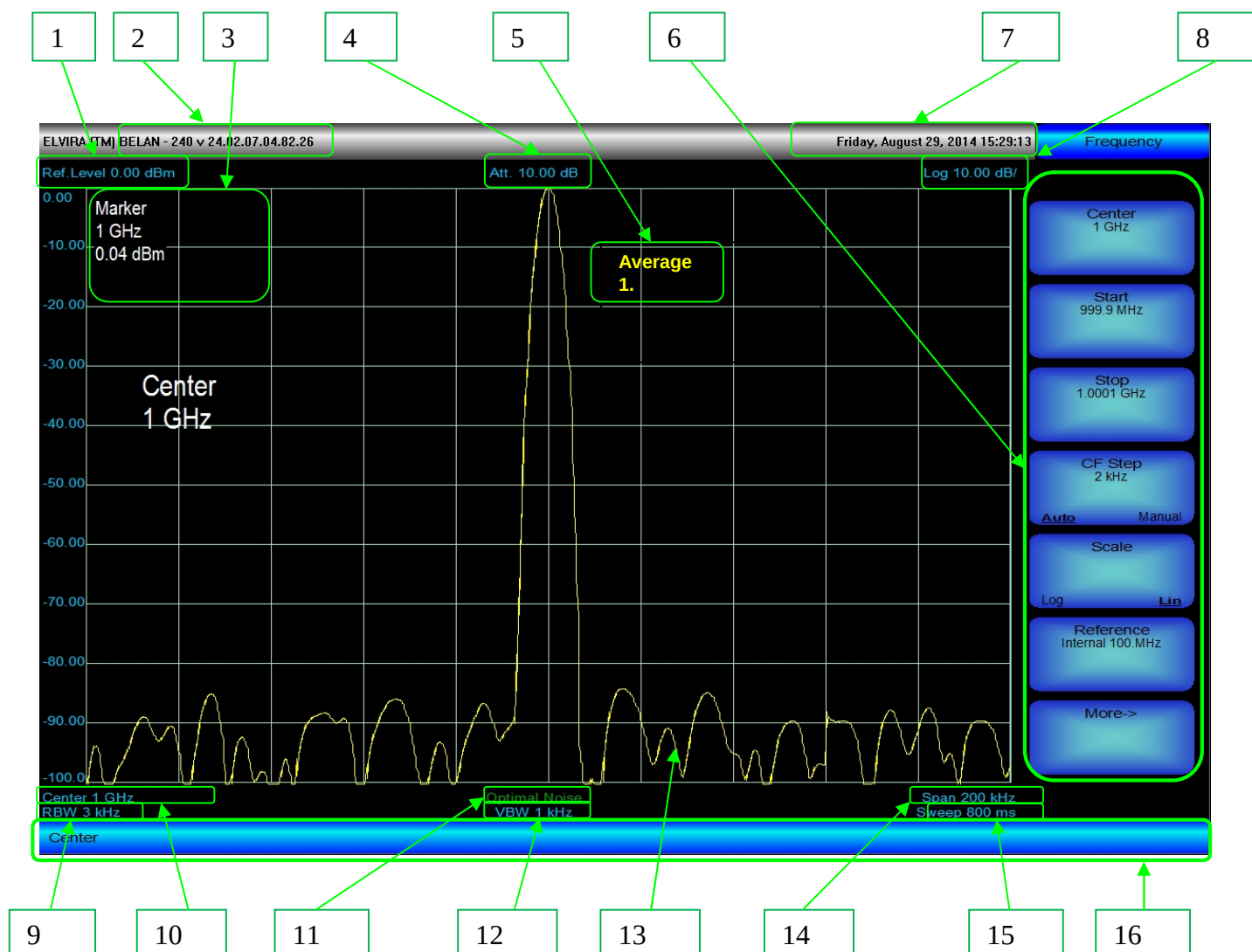
Передняя панель анализатора состоит из следующих элементов:



- 1) Сенсорный дисплей
- 2) Программные сенсорные клавиши
- 3) Секция функциональных клавиш
- 4) Секция маркерных клавиш
- 5) Секция клавиш ввода данных
- 6) Секция органов изменения данных
- 7) Секция клавиш основных параметров
- 8) Секция системных клавиш
- 9) Кнопка включения / выключения питания

- 10) Разъем для подключения наушников
- 11) Регулятор громкости
- 12) Разъемы для подключения USB-устройств
- 13) Разъем для питания источника шума (опция)
- 14) Выход 1-го гетеродина прибора
- 15) Выход опорного источника 100 МГц
- 16) Выход следящего генератора (опция)
- 17) Секция клавиш для управления графиками
- 18) СВЧ входной разъем

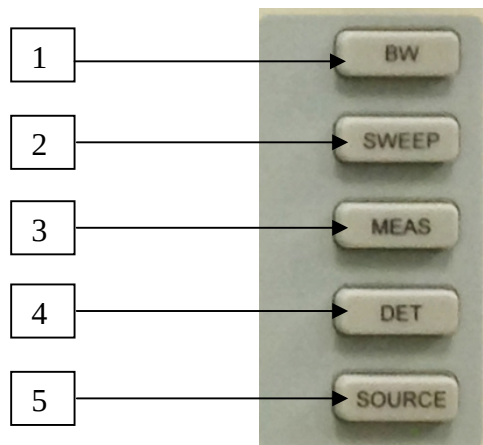
2.3. Элементы сенсорного экрана



- 1) Значение опорного уровня
- 2) Версия программного обеспечения
- 3) Измеренное значение в точке маркера
- 4) Значение ослабления аттенюатора
- 5) Количество выполненных усреднений
- 6) Программные сенсорные клавиши
- 7) Текущее значение времени и даты
- 8) Тип и размерность вертикальной шкалы

- 9) Значение полосы пропускания
- 10) Значение центральной частоты
- 11) Режим приемного тракта
- 12) Значение видеофильтра
- 13) Измерительная трасса (график)
- 14) Значение полосы обзора
- 15) Значение времени развертки
- 16) Строка служебных сообщений

2.4. Секция функциональных клавиш



1 – клавиша **BW**

Используется для установки значения полосы пропускания, видеофильтра и количества усреднений.

2 – клавиша **SWEEP**

Используется для выбора режима развертки (одиночная/непрерывная), установки значения времени развертки, выбора типа запуска.

3 – клавиша **MEAS**

Открывает меню автоматических измерений частоты и мощности.

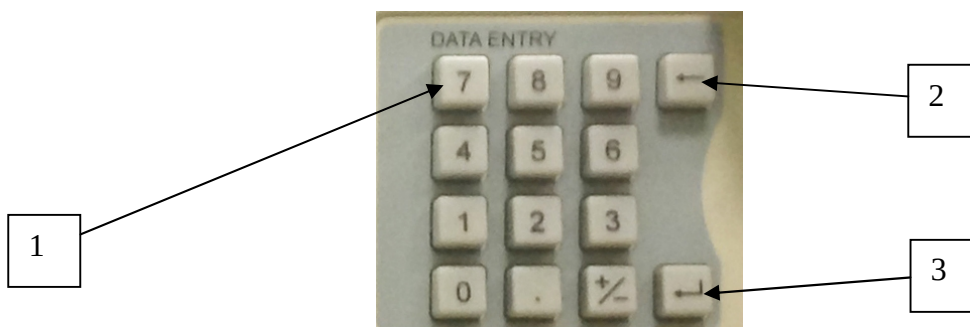
4 – клавиша **DET**

Позволяет выбрать тип детектора и демодулятора.

5 – клавиша **SOURCE**

Открывает доступ в меню следящего генератора (опция).

2.5. Секция клавиш ввода данных



1 – клавиши цифр

Enter numbers using ten digit keys (from 0 to 9), decimal point key (.) and signs (+/-) key.

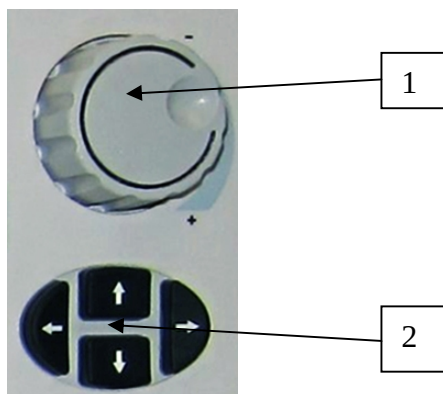
2 – клавиша **ВВОД**

Подтверждает команду (например, начать усреднение).

3 – клавиша **В СБРОС**

Используется для удаления ошибочно введенных данных.

2.6. Секция органов изменения данных



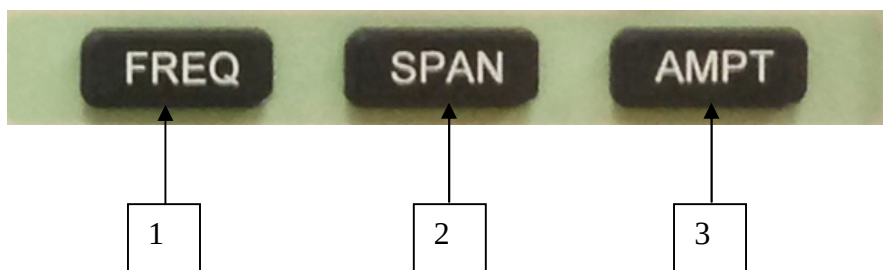
1 – Рукоятка плавной регулировки данных

Позволяет перемещать маркер, изменять текущее значение частоты, полосы обзора, опорного уровня и т.д.

2 – Клавиши пошагового изменения данных

Позволяет изменять данные с заданным шагом.

2.7. Секция клавиш основных параметров



1 – клавиша **FREQ**

Используется для установки основных частотных параметров: центральной, начальной, конечной частоты, шага изменения частоты, выбора типа горизонтальной шкалы (линейный, логарифмический).

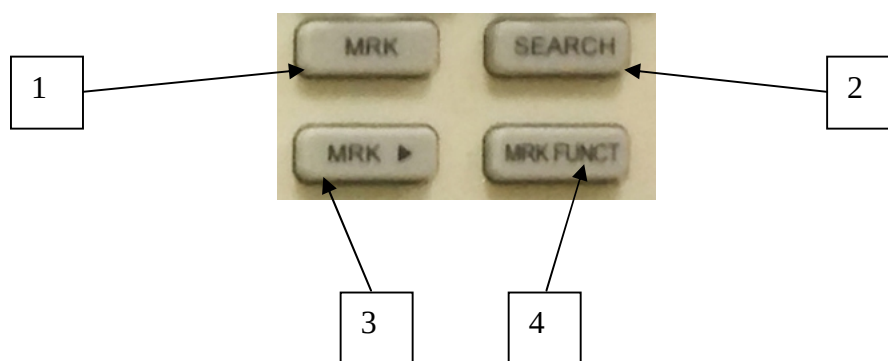
2 – клавиша **SPAN**

Используется для установки полосы обзора относительно центральной частоты.

3 – клавиша **AMPT**

Используется для установки амплитудных параметров: значения опорного уровня, ослабления входного аттенюатора, масштаба и размерности вертикальной шкалы (дБм, дБмВ, дБмкВ, Вт, В).

2.8. Секция маркерных клавиш



1 – клавиша **MRK**

2 – клавиша **SEARCH**

3 – клавиша **MRK ►**

4 – клавиша **MRK FUNCT**

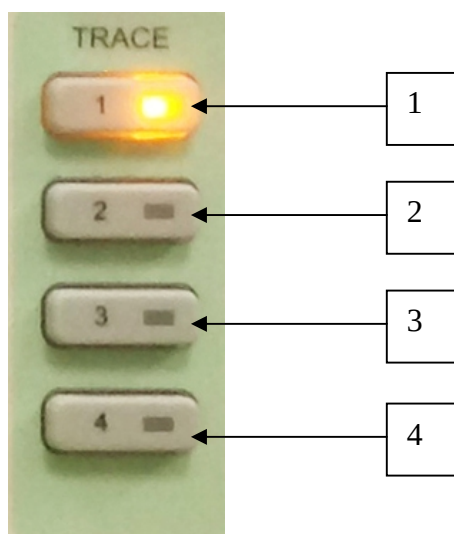
Позволяет активировать до 8 маркеров, осуществлять выбор между ними, включать и выключать дельта-маркер, удалять маркер.

Позволяет осуществлять поиск максимума и минимума сигнала, а также определять полосу сигнала на заданном уровне.

Позволяет сделать центральную, начальную или конечную частоту равной частоте в точке маркера. Позволяет сделать значение опорного уровня равным значению амплитуды в точке маркера. Активирует режим следящего маркера.

Позволяет автоматически вычислять значение определенных функций (дБн/Гц, дБм/Гц, 1/F) на основании маркерных данных.

2.9. Секция клавиш для управления графиками



1 – клавиша графика **1**

2 – клавиша графика **2**

3 – клавиша графика **3**

4 – клавиша графика **4**

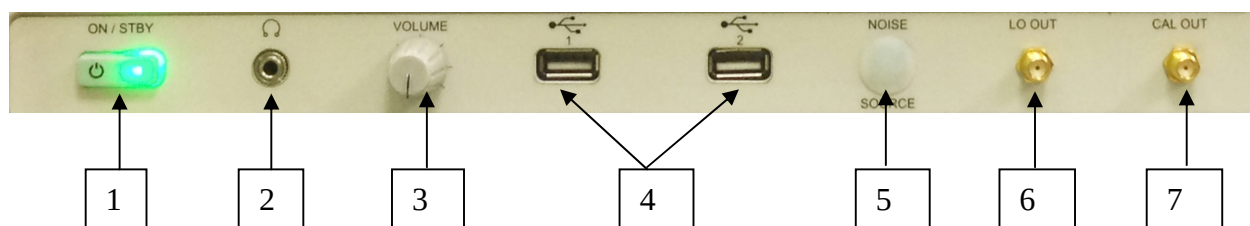
Используется для выбора графика #1 (желтого цвета) в качестве активного (позволяет обновлять, удалять, усреднять, замораживать график, а также удерживать максимальные или минимальные значения).

Используется для выбора графика #2 (зеленого цвета) в качестве активного (позволяет обновлять, удалять, усреднять, замораживать график, а также удерживать максимальные или минимальные значения).

Используется для выбора графика #3 (голубого цвета) в качестве активного (позволяет обновлять, удалять, усреднять, замораживать график, а также удерживать максимальные или минимальные значения).

Используется для выбора графика #4 (красного цвета) в качестве активного (позволяет обновлять, удалять, усреднять, замораживать график, а также удерживать максимальные или минимальные значения).

2.10. Разъемы на передней панели – часть 1



1 – Кнопка включения / выключения питания

Позволяет включать и выключать прибор

2 – Разъем для подключения наушников

Позволяет вывести на наушники демодулированный сигнал.

3 – Регулятор громкости

Регулирует громкость демодулированного сигнала.

4 – Разъемы для подключения USB устройств

3 разъема для подключения USB устройств.

5 – Разъем питания для источника шума

Обеспечивает сигнал постоянного тока напряжением +28В для питания внешнего источника шума при измерении коэффициента шума (опция).

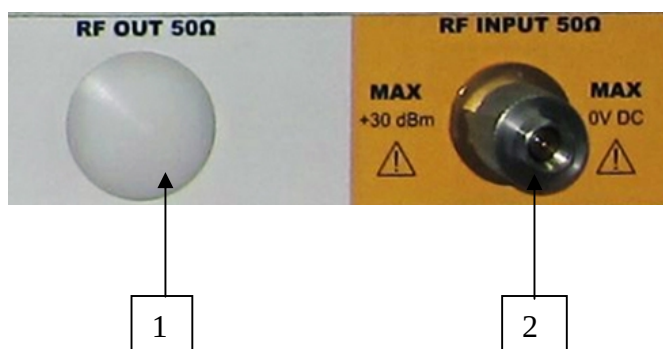
6 – Выход сигнала первого гетеродина

Позволяет вывести на переднюю панель сигнал первого синтезированного гетеродина.

7 – Выход опорного источника 100 МГц

Позволяет вывести на переднюю панель сигнал опорного источника 100 МГц с уровнем -10 дБм для проверки точности установки частоты прибора.

2.11. Разъемы на передней панели – часть 2



1 – Выход следящего генератора

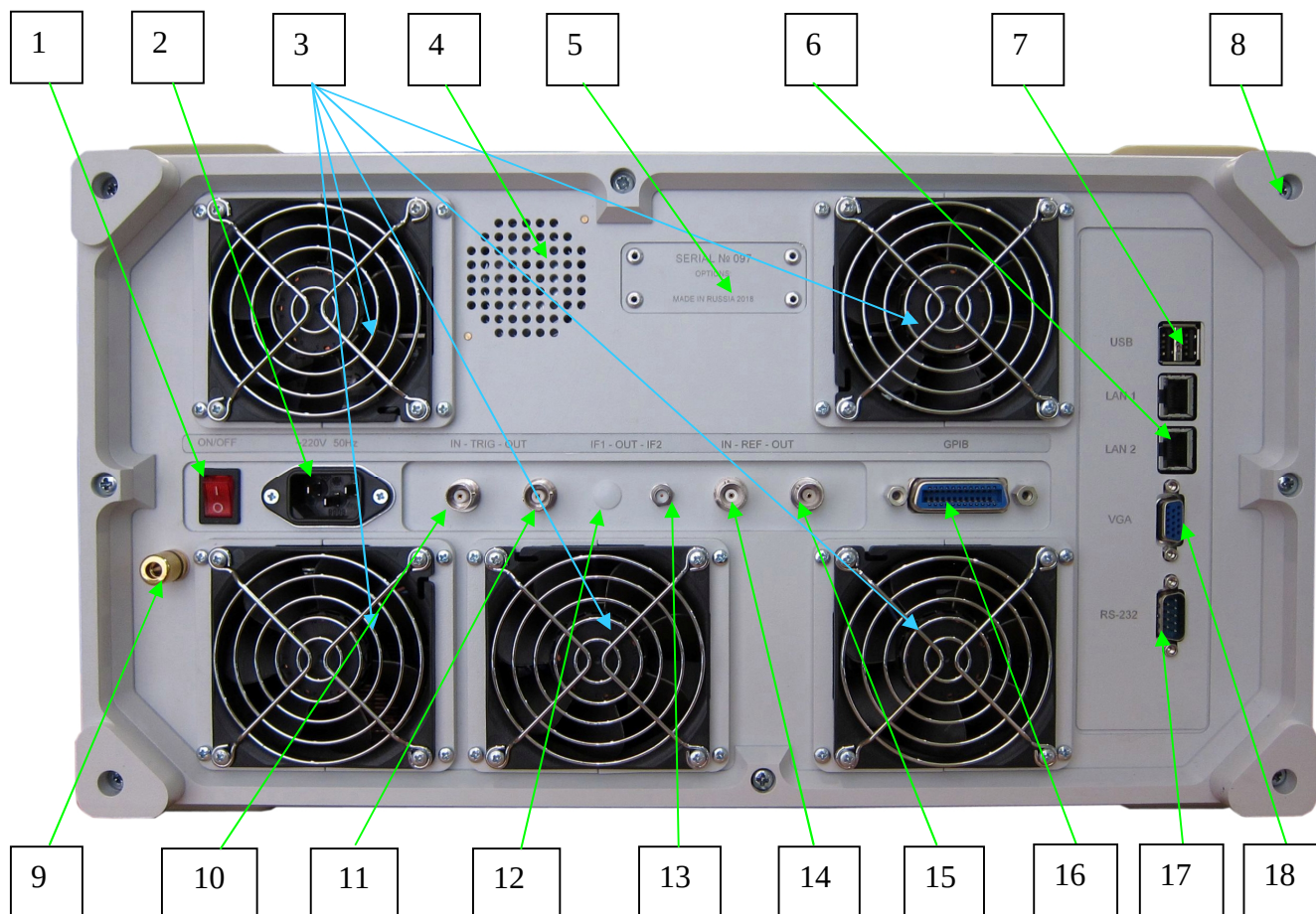
Используется для проведения измерений модуля коэффициента передачи и отражения четырехполюсников

2 – СВЧ вход

Используется для подачи на вход прибора анализируемого сигнала.

2.12. Компоновка задней панели

Этот раздел описывает заднюю панель и назначение размещенных на ней разъемов.



1 – Тумблер питания

2 – Разъем питания

3 – Вытяжная вентиляция

4 – Динамик

5 – Ярлык производителя

6 – Разъемы Ethernet

7 – Разъемы USB

8 – Защитная ножка

9 – Земельная клемма

10 – Разъем Trig In

11 – Разъем Trig Out

12 – Разъем IF 1 Out

13 – Разъем IF 2 Out

14 – Разъем Ref In

15 – Разъем Ref Out

16 – Разъем GP-IB

17 – Разъем RS-232

18 – Разъем VGA

Включает прибор в режим ожидания и выключает его.

Предназначен для подключения прибора к сети переменного тока.

Используется для охлаждения функциональных узлов внутри прибора.

Предназначен для прослушивания демодулированного сигнала.

Указывает дату производства прибора и перечень установленных опций.

2 разъема LAN для передачи данных и внешнего управления прибором.

2 дополнительных разъема USB для подключения периферийных устройств.

Металлическая ножка, предназначенная для защиты задней панели от механических повреждений.

Разъем для заземления анализатора спектра.

Разъем для запуска развертки анализатора от внешнего синхронизирующего сигнала.

Разъем для подачи синхронизирующего сигнала на внешнее устройство.

Разъем для вывода второй ПЧ 421.4 МГц (опция).

Разъем для вывода третьей ПЧ 21.4 МГц.

Разъем для привязки гетеродинов анализатора к внешней опоре 10 МГц может ухудшать параметры фазового шума прибора).

Разъем для вывода внутренней опоры 10 МГц для привязки внешних устройств к опорной частоте анализатора.

Используется для внешнего управления прибором по интерфейсу GP-IB (IEEE.488).

Используется для внешнего управления прибором по интерфейсу RS-232.

Предназначен для подключения внешнего дисплея к анализатору.

2.13. Включение прибора

1. Включить шнур питания в сеть.
2. Включить тумблер питания на задней панели.
3. Убедиться, что загорелся красный светодиод на передней панели.
4. Включить кнопку питания на передней панели.
5. Убедиться, что красный цвет светодиода изменился на зеленый.
6. Подождать порядка двух минут, в течение которых загружается компьютерная программа.

Если Вы уже работали с анализатором, то по включении устанавливаются параметры, соответствующие последнему измерению. Для установки параметров прибора по умолчанию следует нажать зеленую клавишу **PRESET**.

2.14. Выключение прибора

1. Нажмите кнопку выключения на передней панели прибора.
2. Дождитесь завершения работы программы и отключения дисплея (светодиод над кнопкой выключения должен загореться красным цветом).
3. Отключите тумблер питания на задней панели.

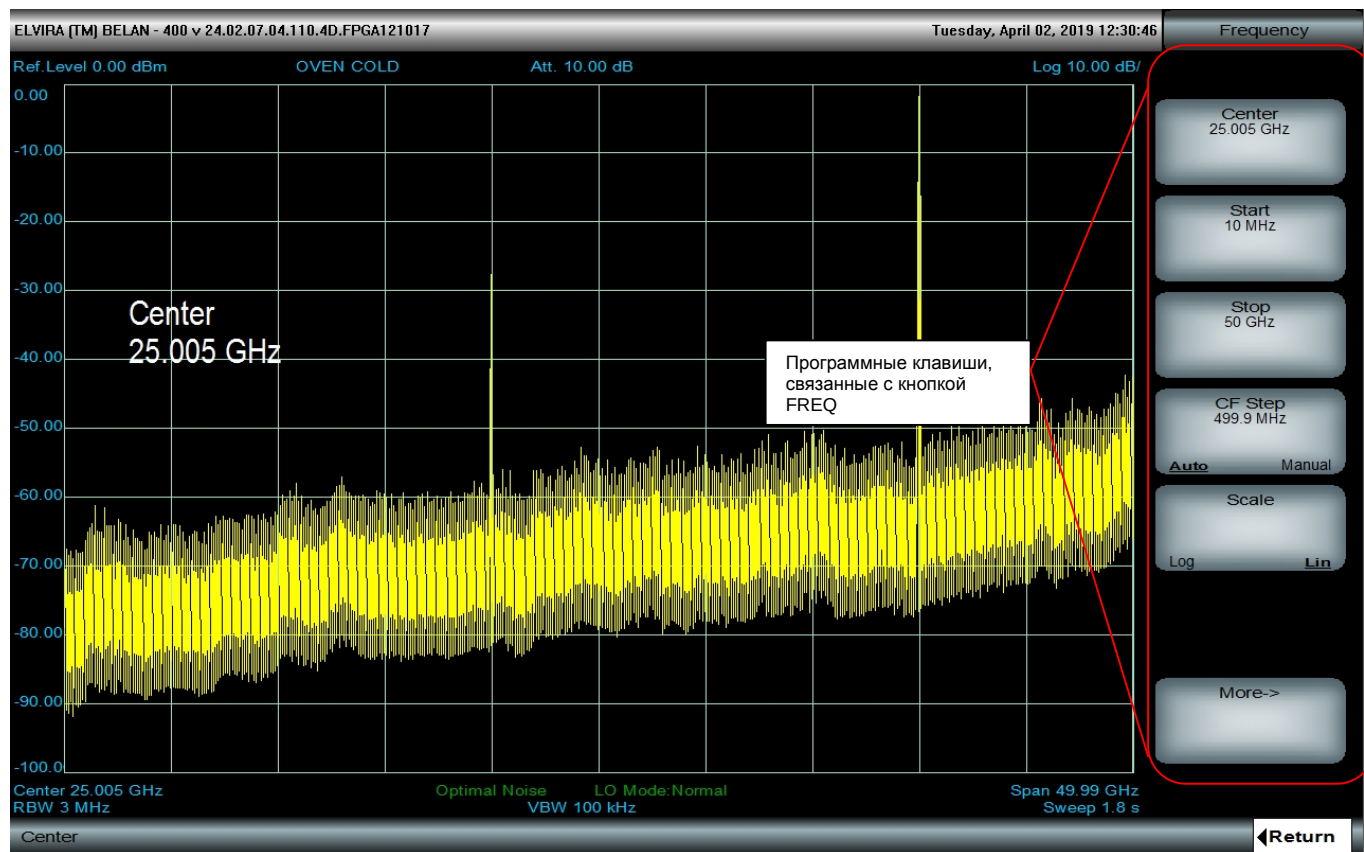
Если сетевое питание было отключено до завершения работы программы, то при следующем включении прибора на дисплее может появиться сообщение об ошибке файловой системы и работа прибора будет остановлена. Чтобы устранить эту неисправность, следует подключить к USB разъему на передней панели стандартную клавиатуру для ЭВМ с USB разъемом и нажать на этой клавиатуре клавишу "ввод". Если такой клавиатуры в наличии нет, то можно просто выключить и включить прибор заново. Если проблема не может быть устранена при повторном включении прибора, обратитесь к производителю.

2.15. Работа с меню и ввод данных

Управление настройками и режимами работы анализатора спектра осуществляется при помощи аппаратных клавиш на передней панели и программных сенсорных клавиш на экране прибора.

Если нажата аппаратная клавиша на передней панели, связанные с ней программные сенсорные клавиши будут сгруппированы в правой части экран в виде столбца, состоящего из голубых прямоугольников (пример показан на рисунке 1).

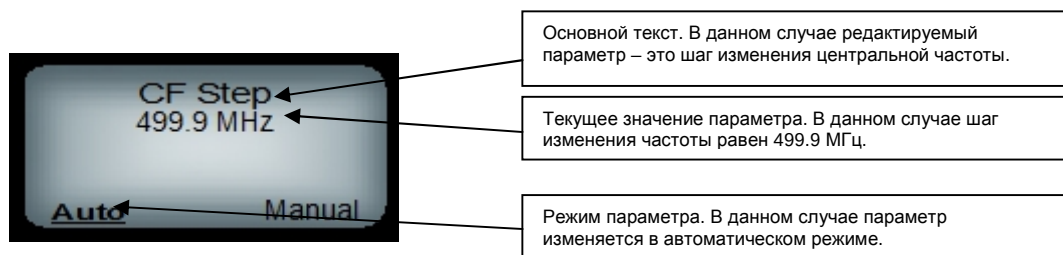
Рис. 1. Программные клавиши, связанные с аппаратной кнопкой FREQ (ЧАСТОТА)



Для выбора нужной программной клавиши следует просто нажать на соответствующий прямоугольник на сенсорном экране.

Прямоугольник программной клавиши содержит текст. Основной текст (выделен жирным шрифтом) обозначает название редактируемого параметра. Под основным текстом может отображаться текущее значение параметра (например, текущее значение центральной частоты, полосы обзора и т.д.). В нижней части программной клавиши может отображаться режим параметра (автоматический или ручной). Используемый в настоящий момент режим параметра отображается подчеркнутым жирным шрифтом красного цвета. Пример программной клавиши показан на рисунке 2.

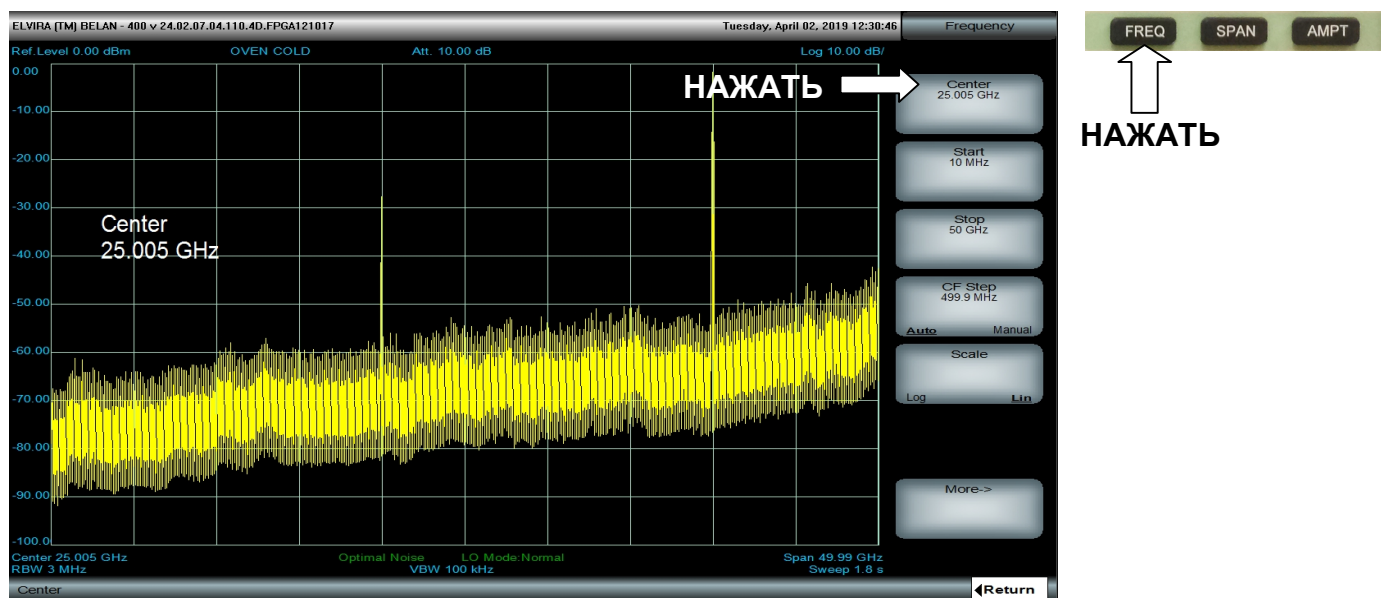
Рис. 2. Пример программной клавиши



2.16. Установка частоты

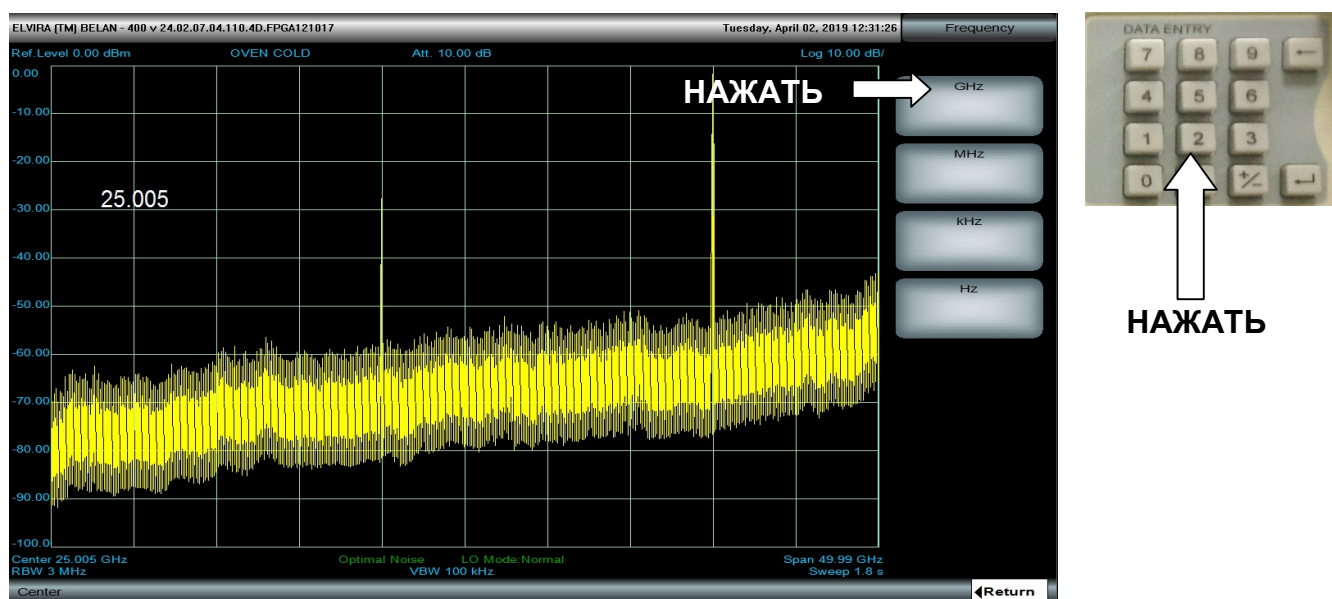
Для вывода на экран программных клавиш, отвечающих за изменение частотных параметров прибора, следует нажать кнопку **FREQ** в секции клавиш основных параметров (см. рисунок 3).

Рис 3. Программные клавиши, связанные с кнопкой FREQ (ЧАСТОТА)



Нажатие на сенсорные программные клавиши **Start**, **Stop** и **Center** позволяет ввести значения начальной, конечной и центральной частоты соответственно. Программная клавиша **CF Step** используется для задания шага изменения частоты. Заданный шаг по частоте будет применяться при изменении начальной, конечной или центральной частоты при помощи клавиш пошагового изменения данных.

Рис. 4. Ввод требуемого значения частоты



Ввод требуемого значения частоты осуществляется при помощи клавиш ввода данных. После того, как нажата любая клавиша из секции ввода данных, на экране появится набор программных клавиш (Hz, kHz,

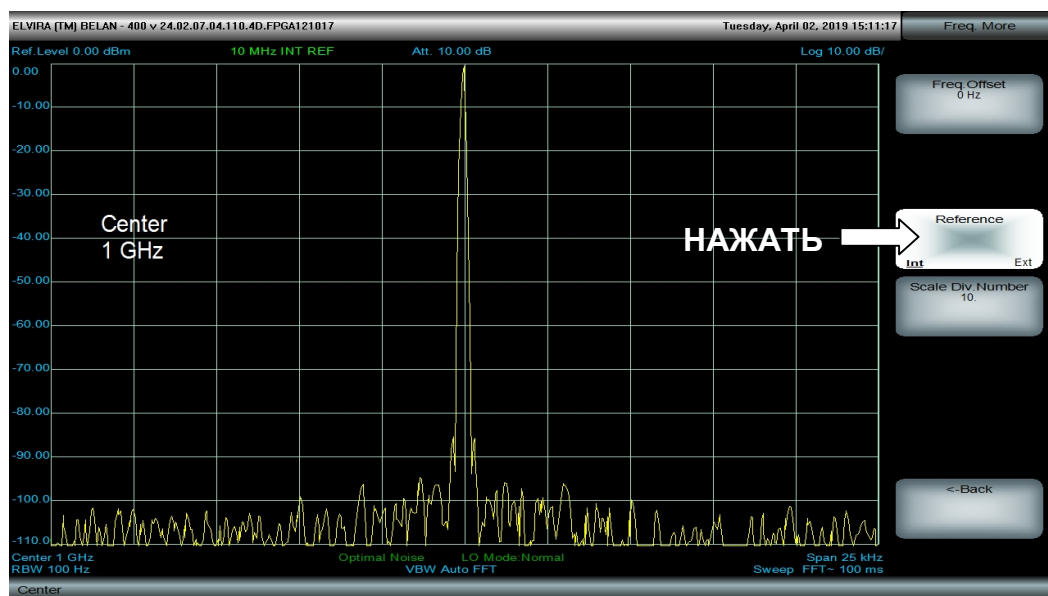
MHz, GHz), позволяющих задать размерность. Когда ввод нужного числового значения завершен, размерность выбирается простым нажатием на соответствующую программную клавишу на сенсорном экране, как показано на рисунке 4.

Программная клавиша **Scale Type** задает тип масштаба горизонтальной шкалы: линейный (используется по умолчанию) или логарифмический. Применение логарифмического масштаба горизонтальной шкалы целесообразно в тех случаях, когда нужно наблюдать в деталях низкочастотный и СВЧ диапазон одновременно.

Нажатие на программную клавишу **More->** обеспечивает доступ к дополнительным программным клавишам: **Freq.Offset**, **Reference**, **Scale Div. Number** и **DC input**.

Программная клавиша **Freq.Offset** используется для ввода определенного смещения по частоте в случаях, когда с анализатором спектра используется внешний гармонический смеситель. Программная клавиша **Scale Div. Number** используется для задания произвольного числа делений (от 1 до 14) для горизонтальной шкалы. Программная клавиша **DC input** используется для включения и выключения режима открытого входа. Она активна, если в приборе установлена опция 07x. Если открытый вход выключен, то нижняя частотная граница анализатора составляет 9 кГц в режиме тракта **Optimal IMD** и 10 МГц в режиме тракта **Optimal Noise**. При активированном открытом входе сигнал будет подаваться в тракт преобразования частоты в обход разделительного конденсатора, защищающего входные каскады анализатора от постоянного тока. Это позволяет исследовать сигналы с низкими частотами, вплоть до 10 Гц. При этом режим тракта принудительно будет изменен на **Optimal IMD**. Больше о режимах СВЧ тракта можно узнать в разделе 2.18 (Контроль амплитудных параметров).

Рис.5. Выбор опорного источника

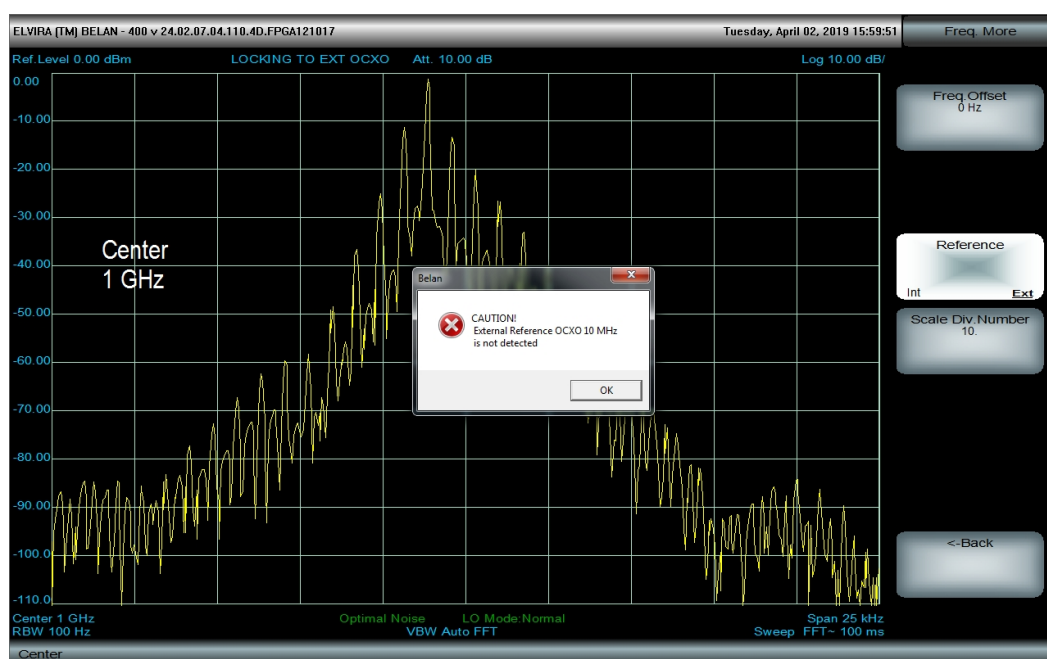


Программная клавиша **Reference** выполняет крайне важную функцию для корректной работы всего прибора, связанную с выбором опорного источника. По умолчанию все гетеродины прибора синхронизированы от встроенного термостатированного кварцевого генератора 10 МГц, имеющего очень высокую температурную ($<1E-10$) и долговременную стабильность частоты ($<1E-7$ за год). В течение 15 минут после включения, пока термостатированный опорный генератор 10 МГц прогревается и выходит на режим, в верхней части экрана будет выводиться сообщение голубого цвета **OVEN COLD**. В это время программная клавиша **Reference** не будет реагировать на нажатия пользователя. Через 15 минут опорный генератор выйдет на частоту термостатирования, и будет выполнена попытка захвата от него всех гетеродинов прибора. В этот момент появится сообщение **LOCKING TO INT OCXO**. Если синхронизация выполнена успешно, то в верхней части экрана появится надпись **10 MHz INT OCXO** зеленого цвета (см. рисунок 5). При этом программная клавиша **Reference** становится активной, а режим ее параметра по умолчанию становится **Int**, что соответствует режиму синхронизации от встроенного опорного генератора 10 МГц. Если при попытке установить синхронизацию возникает сбой, то она будет повторена 3 раза. Если, несмотря на это, синхронизацию осуществить не удастся, прибор выдаст в верхней части экрана надпись об ошибке красного цвета **REF**.

ERROR, сигнализирующую о том, что гетеродины прибора работают без привязки к опоре 10 МГц. В этом случае следует связаться с сервисным центром производителя прибора.

Если в процессе работы с прибором необходимо произвести его синхронизацию от внешнего опорного источника 10 МГц, то следует выполнить следующие действия. Подключить к разъему **10 MHz REF IN** на задней панели прибора сигнал внешнего опорного генератора 10 МГц. Согласно таблице 3 раздела 1.5 (а также Описанию Типа СИ), для успешной синхронизации от внешнего источника 10 МГц, его частота не должна отклоняться от своего номинального значения более чем на ± 2 Гц, а уровень сигнала должен находиться в диапазоне от +5 дБм до -5 дБм. После этого следует нажать на программную клавишу **Reference**. Прибор выполнит попытку синхронизации гетеродинов от подключенного внешнего опорного источника 10 МГц. При этом в верхней части экрана появится надпись **LOCKING TO EXT OCXO**. Если параметры внешнего опорного генератора соответствуют требованиям, указанным в таблице 3, будет выполнена синхронизация от внешнего опорного источника 10 МГц. Сигнализировать об успешном завершении данной процедуры будет надпись зеленого цвета в верхней части экрана **10 MHz EXT OCXO**. При этом режим параметра программной клавиши **Reference** будет изменен на **Ext**.

Рис.6. Сбой при синхронизации от внешнего источника 10 МГц.



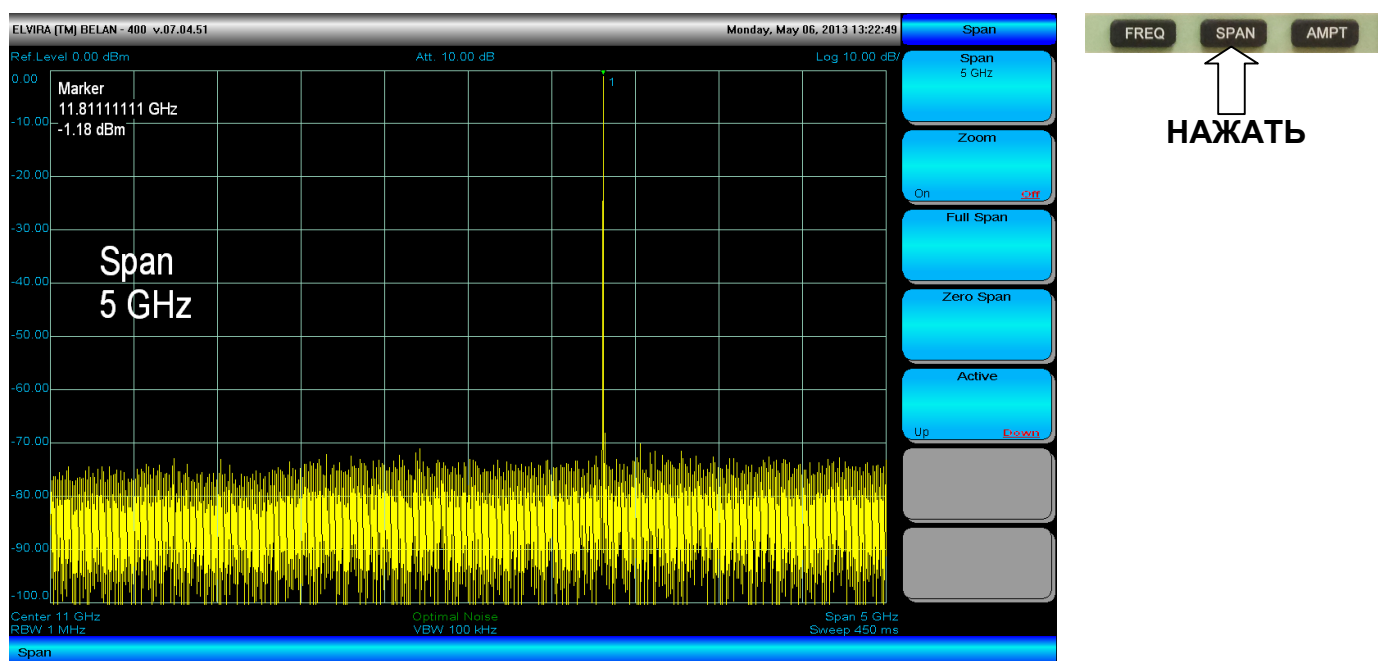
Если при синхронизации от внешнего источника произошел сбой, будет выведено соответствующее диалоговое окно (см. рисунок 6), сигнализирующее о том, что сигнал внешней опоры не обнаружен (или его параметры отличаются от требуемых). При нажатии кнопки **ОК** в данном диалоговом окне будет произведен автоматический возврат к режиму синхронизации от встроенного источника 10 МГц. В этом случае следует проверить параметры внешней опоры 10 МГц и повторить попытку синхронизации от нее. Если параметры внешней опоры точно соответствуют требованиям таблицы 3 раздела 1.5, но синхронизация не выполняется, следует связаться с производителем прибора.

2.17. Установка полосы обзора

Ввод полосы обзора относительно центральной частоты осуществляется при помощи кнопки **SPAN** в секции клавиш основных параметров на передней панели прибора. При нажатии на кнопку **SPAN** на экране прибора появляется меню программных клавиш, связанных с полосой обзора (см. рисунок 7).

Ввод требуемого значения полосы обзора осуществляется аналогично вводу частоты (см. предыдущий раздел). Полосу обзора можно изменять также в автоматическом режиме при помощи рукоятки плавной регулировки данных или кнопок пошагового изменения данных. В случае автоматического изменения полосы обзора в приборе будут также автоматически изменяться параметры полосы пропускания и времени сканирования. Программные клавиши **Full Span** и **Zero Span** позволяют выставить полную полосу обзора (равную диапазону частот анализатора спектра) и нулевую полосу обзора, соответственно.

Рис. 7. Программные клавиши, связанные с кнопкой SPAN

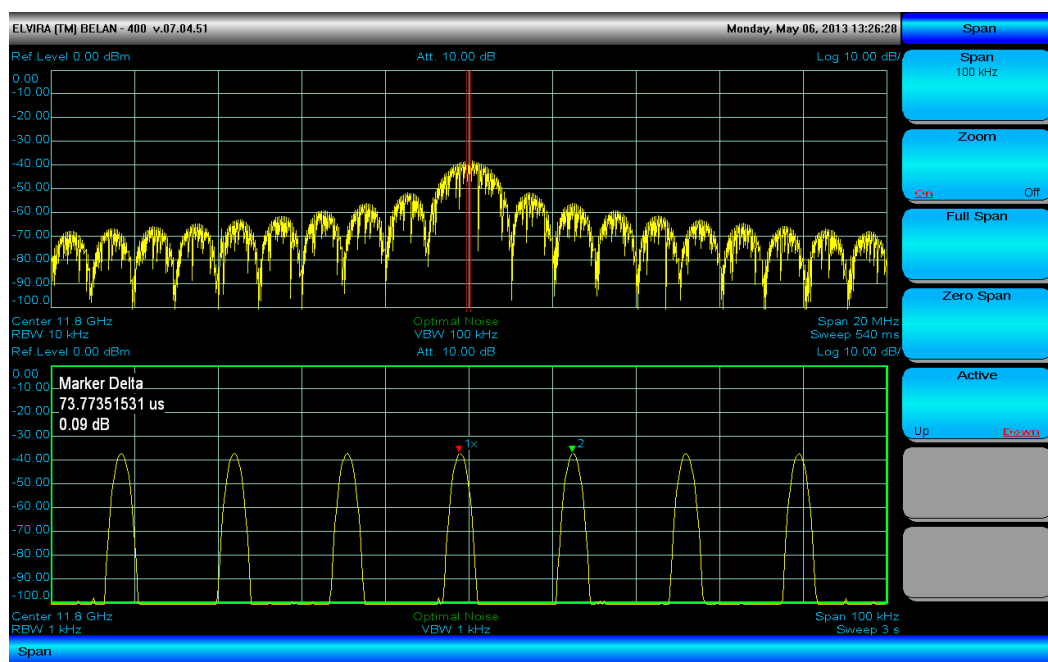


Ввод нулевой полосы обзора превращает анализатор спектра в приемник на фиксированной заданной частоте. Сканирование по частоте в этом режиме отсутствует. Режим БПФ в режиме нулевой полосы обзора будет автоматически выключен. Применение нулевой полосы обзора целесообразно в тех случаях, когда анализатор спектра используется как переносчик частоты, а его третья ПЧ 21.4 МГц подается на внешний модуль цифрового приема (который может обеспечивать большую полосу анализа, чем сам анализатор спектра).

Режим детального обзора, который активируется нажатием на программную клавишу **Zoom**, позволяет оператору изучить в деталях определенную область в рамках исходной полосы обзора. Исходная полоса обзора и область детального просмотра отображаются на экране анализатора спектра одновременно. При активации режима детального обзора, на экране появляется новое окно спектрального анализа, для которого можно вводить собственные параметры полосы обзора, полосы пропускания, опорного уровня и вертикального масштаба (см. рисунок 8).

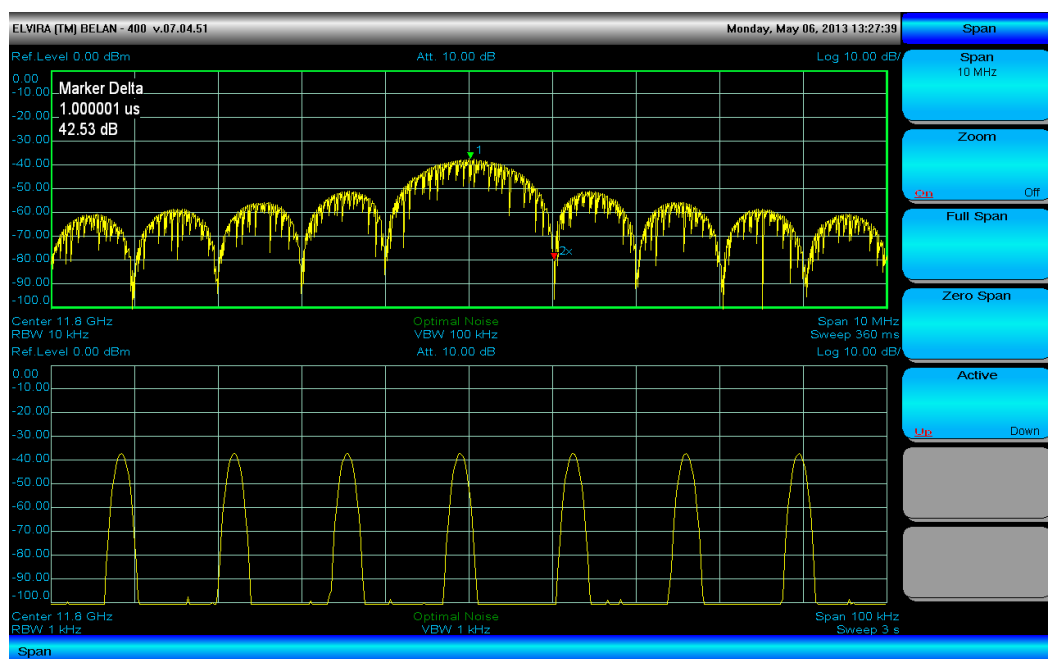
Границы области детального обзора в пределах исходной полосы обзора отмечены красными вертикальными линиями. Переход между окнами спектрального анализа осуществляется путем нажатия на программную клавишу **Active Up Down**. Активное окно будет обрамлено зеленым прямоугольником. Развертка и маркерные измерения производятся только в активном окне. График в неактивном окне при этом замораживается.

Рис. 8. Режим детального обзора Zoom



Режим детального обзора полезен, например, при исследовании сигналов с импульсной модуляцией. Наблюдение участка радиоимпульса в относительно узкой полосе обзора позволяет измерить частоту и период повторения модулирующего импульса, а определение ширины основного лепестка в более широкой полосе обзора позволяет рассчитать длительность модулирующего импульса. На рисунках 8-9 показано измерение радиоимпульса с длительностью 1 мкс и периодом повторения 74 мкс при помощи маркерной функции 1/F в режиме детального обзора.

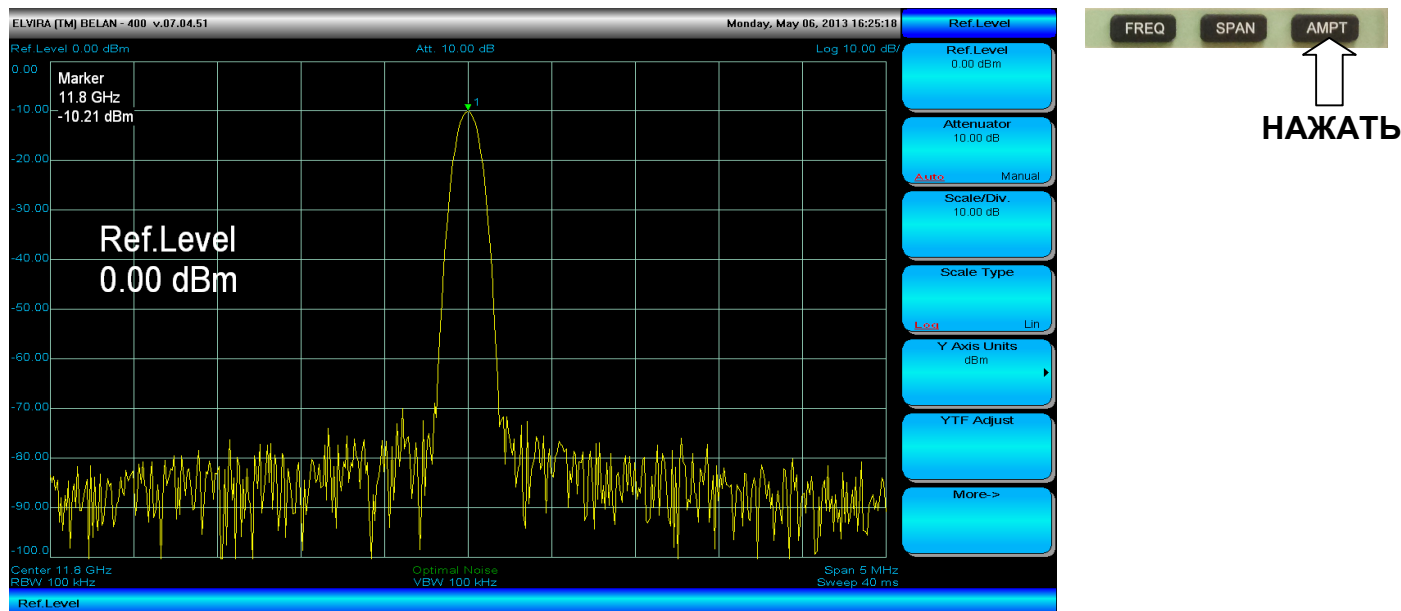
Рис. 9. Измерение параметров радиоимпульса в режиме детального обзора



2.18. Контроль амплитудных параметров

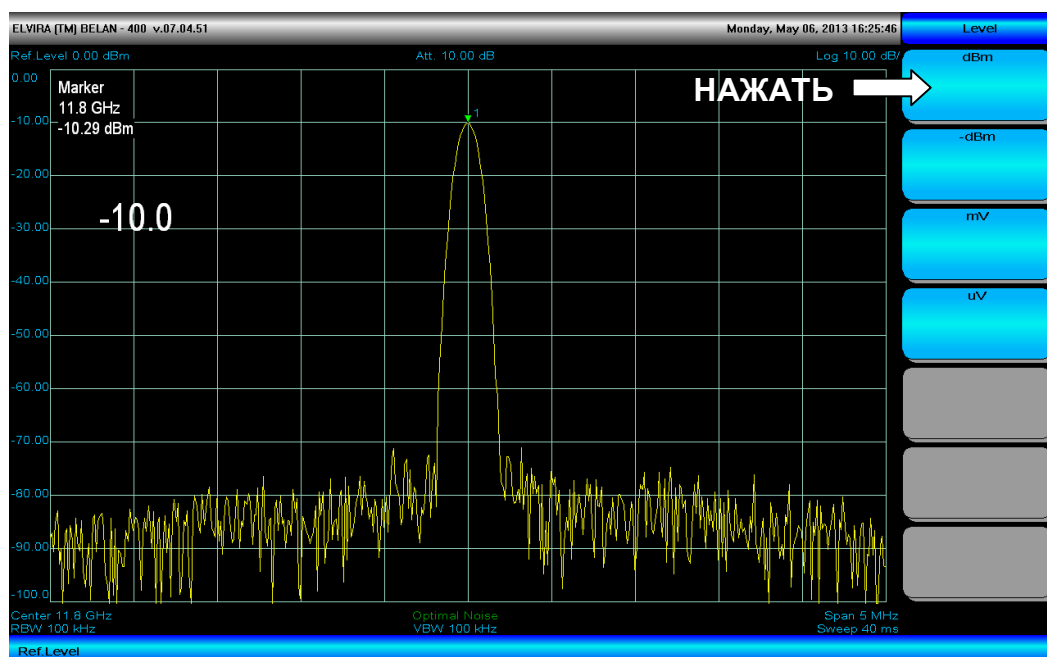
Доступ в меню программных клавиш, связанных с контролем амплитудных параметров, осуществляется путем нажатия кнопки **AMPT** на передней панели прибора (см. рисунок 10).

Рис. 10. Программные клавиши, связанные с кнопкой AMPT



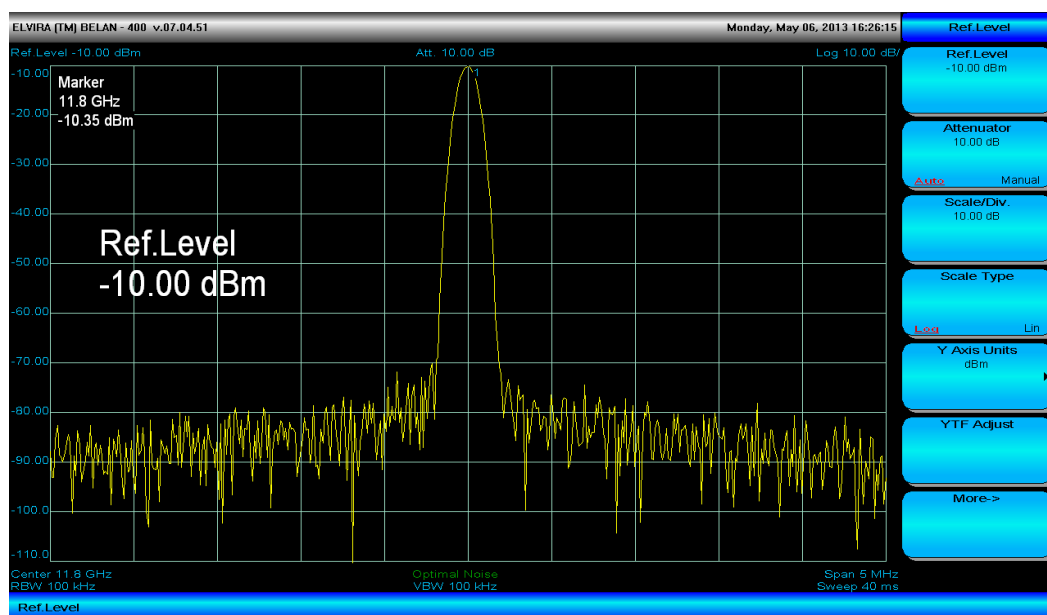
Опорный уровень (обозначается надписью Ref.Level в левом верхнем углу дисплея) соответствует верхней линии масштабной сетки. Для установки требуемого значения опорного уровня следует ввести с клавиатуры нужное число, а затем нажать программную клавишу, обозначающую размерность (dBm, -dBm, mV, uV), как показано на рисунке 11. Программные клавиши, отвечающие за размерность, появляются после ввода первой цифры в секции ввода данных.

Рис. 11. Ввод требуемого значения опорного уровня



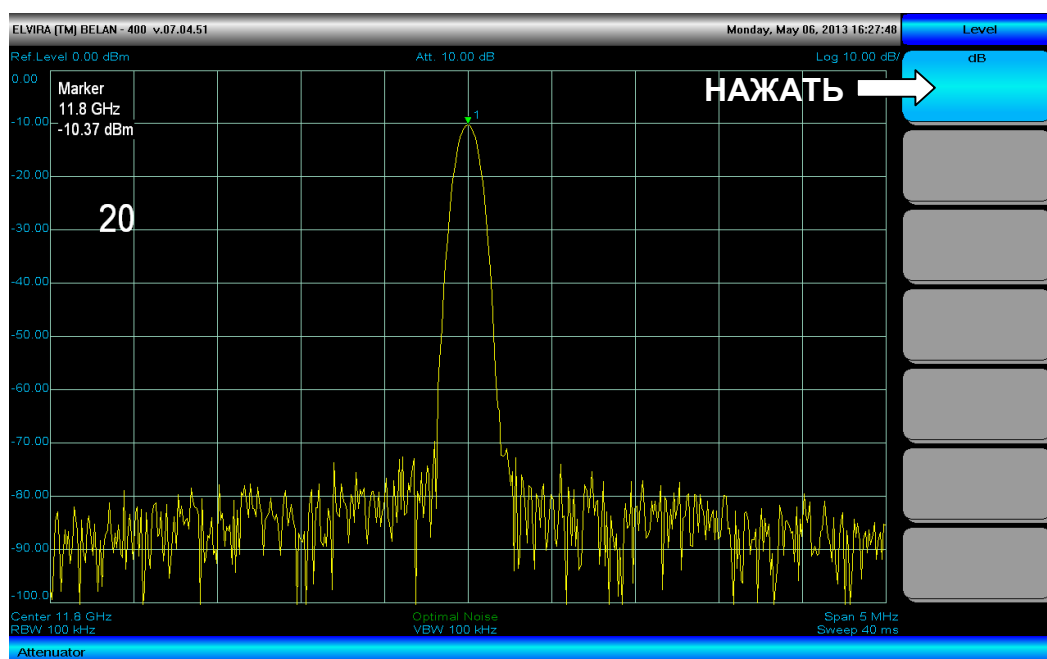
После нажатия клавиши размерности (в приведенном примере -10.0 дБм), новое значение опорного уровня будет выставлено в анализаторе (см. рисунок 12), а график соответствующим образом сдвинут на масштабной сетке (на 10 дБ вверх в приведенном примере).

Рис. 12. Установка опорного уровня -10 дБм



Значение опорного уровня можно изменять в автоматическом режиме, используя кнопки пошагового изменения данных или рукоятку плавной регулировки. Однократное нажатие кнопки пошаговых операций изменяет опорный уровень на величину, равную одному делению масштабной сетки. Рукоятка плавной регулировки данных изменяет значение опорного уровня на 1 дБ.

Рис. 13. Ввод произвольного значения ослабления аттенюатора



Для ввода величины ослабления входного аттенюатора в ручном режиме следует нажать программную клавишу **Attenuator**, ввести с клавиатуры требуемое значение в дБ (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 или 70) и

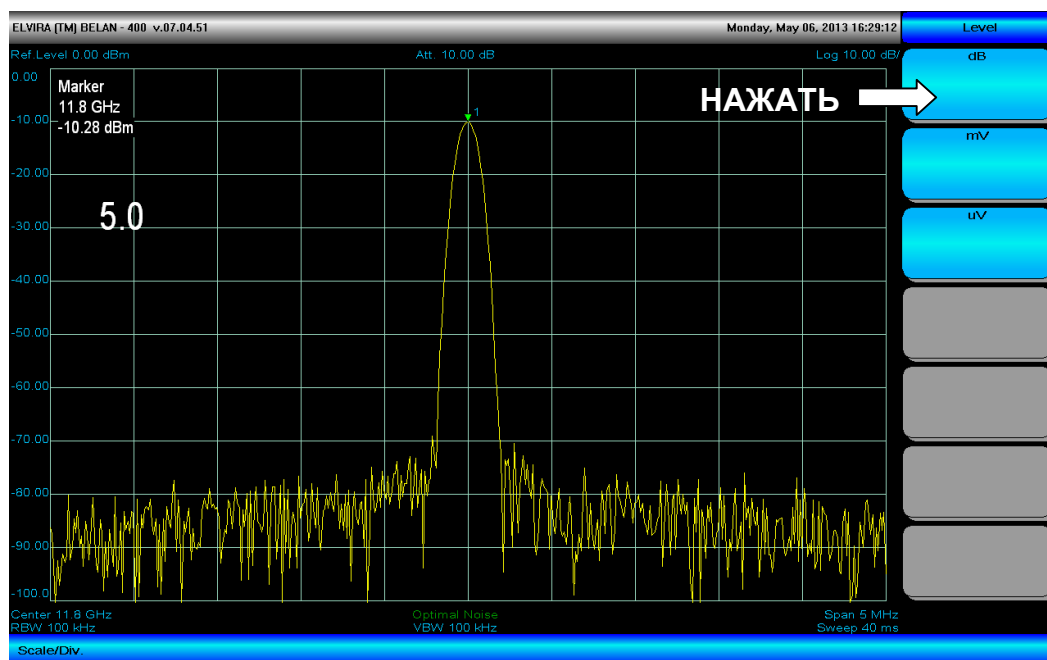
завершить процедуру ввода нажатием программной клавиши **dB** (она появляется после ввода первой цифры, как показано на рисунке 13). Режим параметра в программной клавише **Attenuator** будет изменен с автоматического на ручной. Введенное значение ослабления будет отображено в центре экрана непосредственно над масштабной сеткой.

ВНИМАНИЕ!

Если в процессе измерения на входе прибора может появиться сигнал большого уровня, аттенюатор необходимо перевести в автоматический режим. Значение опорного уровня должно быть больше или равно величине сигнала максимальной амплитуды, который ожидается на входе прибора. Открытый аттенюатор (ослабление 0 дБ) можно использовать только при измерении слабых сигналов.

Для изменения масштаба вертикальной шкалы следует нажать на программную клавишу **Scale/Div.**, ввести требуемое значение масштаба с клавиатуры и выбрать размерность в выпадающем меню программных клавиш (см. рисунок 14).

Рис. 14. Установка произвольного значения масштаба вертикальной шкалы

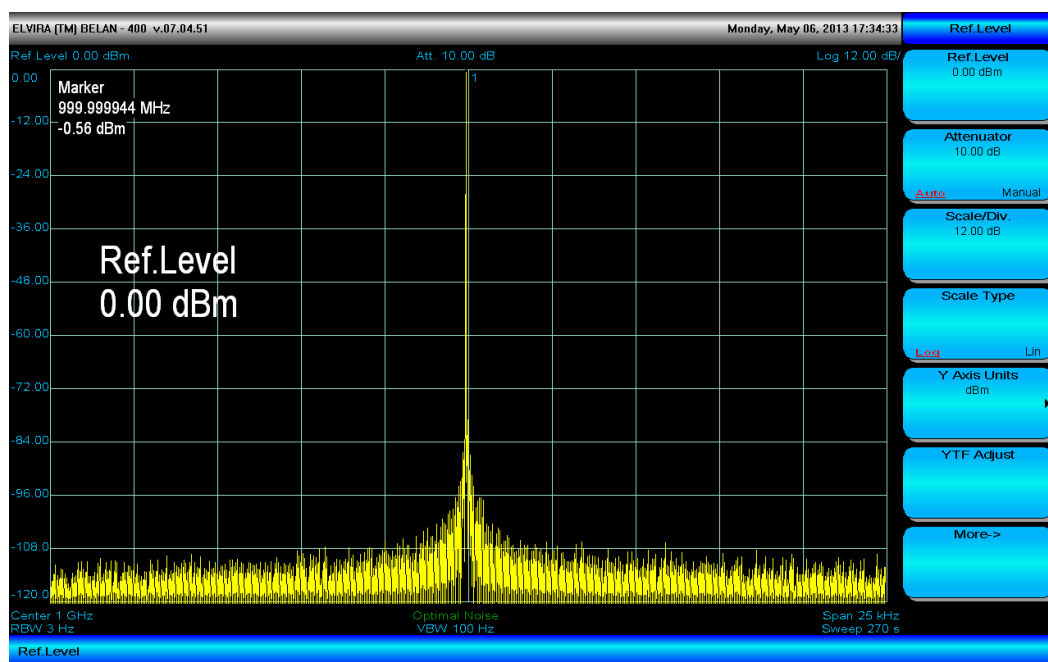


Введенное значение масштаба можно проконтролировать в правом верхнем углу экрана, а также по изменению внешнего вида измерительного графика.

Анализаторы спектра СК4-БЕЛАН 240М/400М отличаются очень низким уровнем вносимых фазовых шумов и побочных спектральных составляющих, поэтому одним из основных видов применения этих приборов является контроль спектра малошумящих синтезаторов частот. В подобных приложениях рекомендуется использовать масштаб вертикальной шкалы больше, чем 10 дБ на деление (используемый в приборе по умолчанию). На рисунке 15 показан пример измерения спектра малошумящего синтезатора при масштабе вертикальной шкалы 12 дБ на деление.

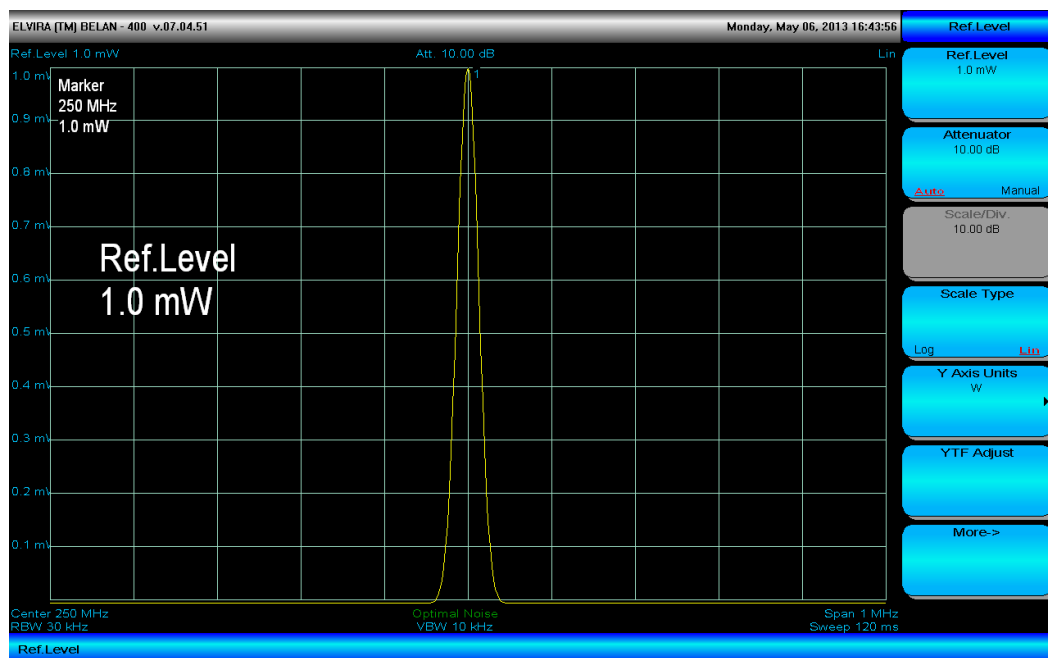
Программная клавиша **Scale Type** используется для выбора типа вертикальной шкалы: логарифмического (используется по умолчанию) или линейного. Используемый в данный момент тип шкалы отображается в программной клавише, а также в правом верхнем углу экрана. Когда включается линейный режим вертикальной шкалы, значение опорного уровня и показания маркера пересчитываются в Ватты или Вольты. Одно деление масштабной сетки соответствует 1/10 от значения опорного уровня (см. рисунок 16). Позиция графика контролируется изменением опорного уровня. Клавиша **Scale/Div.** деактивируется.

Рис. 15. Анализ спектра малошумящего синтезатора частот при масштабе 120 дБ на экран



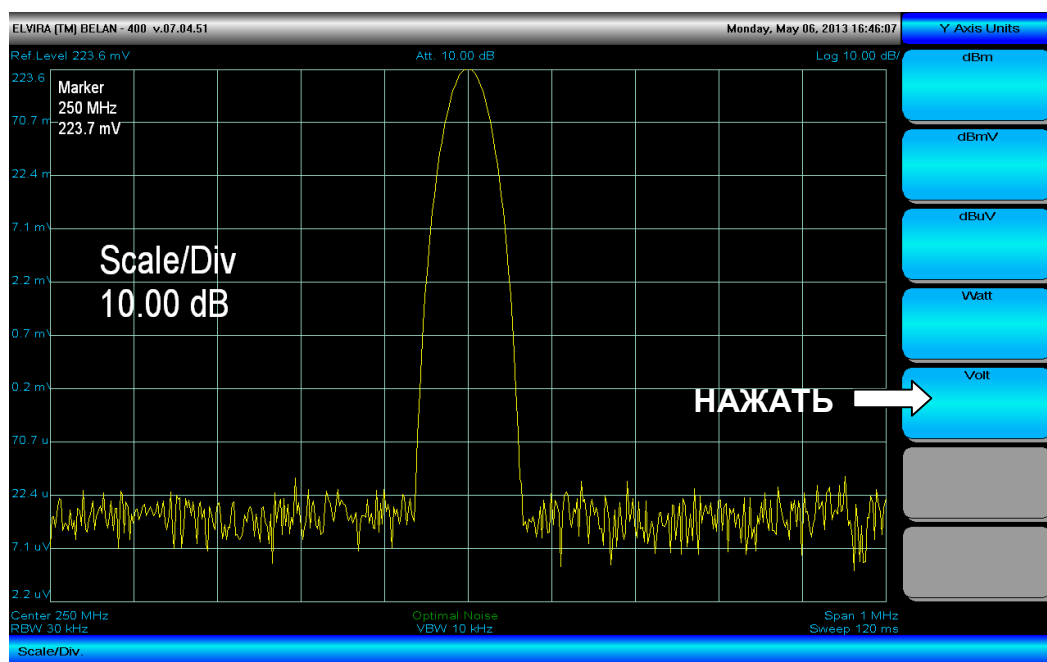
Размерность вертикальной шкалы (dBm, dBmV, dBuV, W, V) можно изменять при помощи программной клавиши **Y Axis Units**. Требуемая единица измерения амплитуды выбирается из выпадающего меню программных клавиш (как показано на рисунке 17).

Рис. 16. Переключение в линейный режим вертикальной шкалы



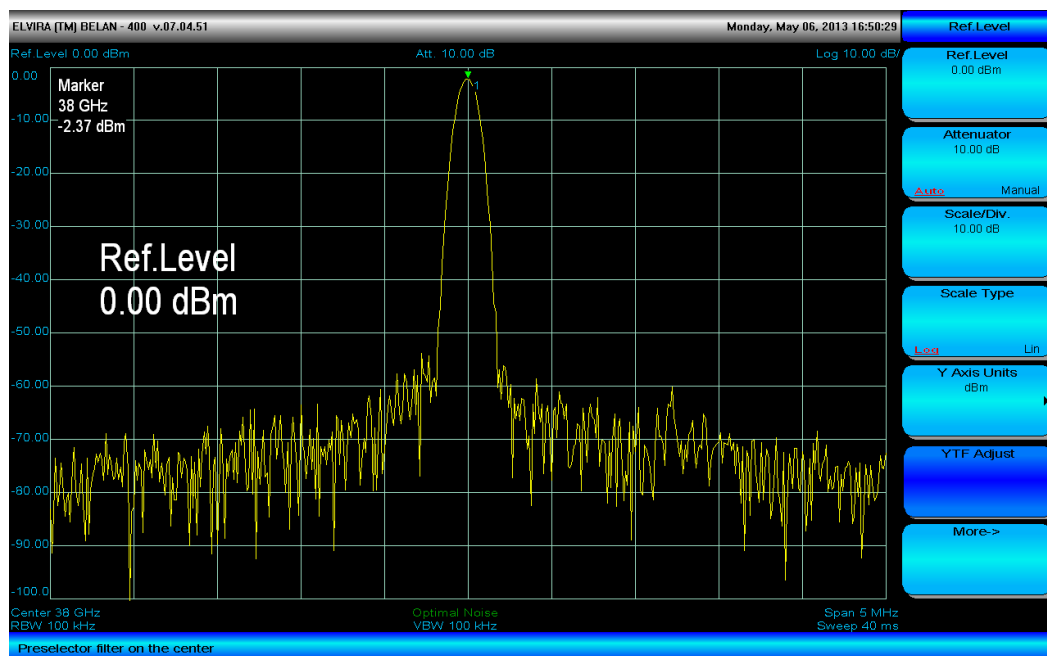
В примере, показанном на рисунке 17, в качестве размерности вертикальной шкалы выбран Вольт. В Вольты пересчитано значение опорного уровня, маркера, делений масштабной сетки, при этом сохраняется логарифмический тип шкалы.

Рис. 17. Выбор размерности вертикальной шкалы



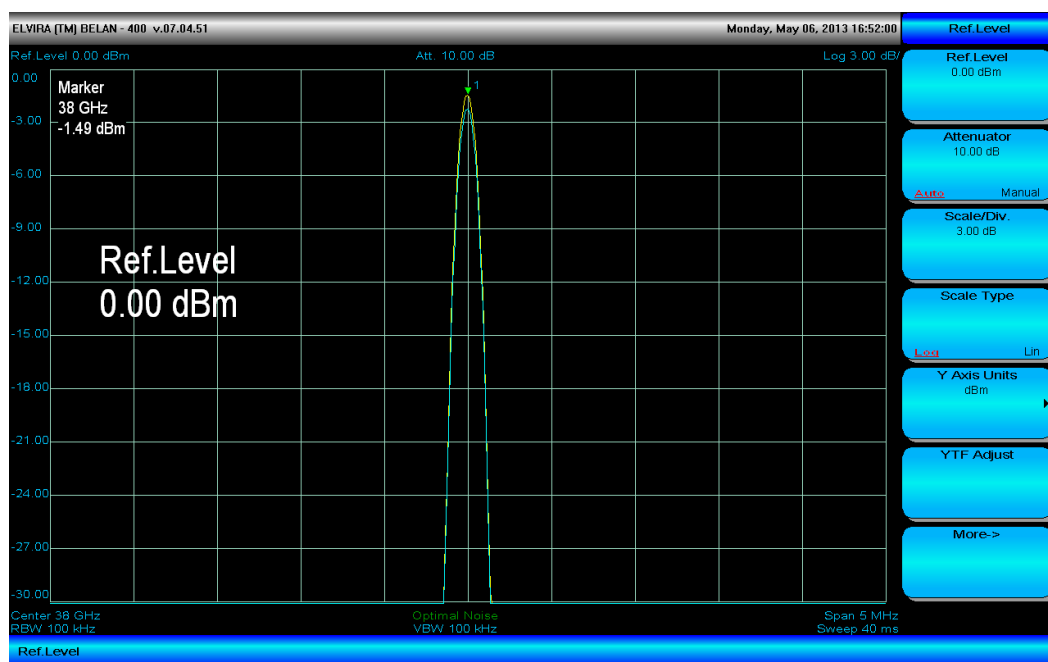
Программная клавиша **YTF Adjust** запускает процедуру поиска центра входного преселектора (преселектор – это ЖИГ-фильтр с диапазоном частот от 3 ГГц до 24 ГГц, 40 ГГц или 50 ГГц в зависимости от конкретной модели анализатора). По завершении процедуры в строке служебных сообщений появляется надпись “Preselector Filter on the Center” (преселектор настроен на центр полосы пропускания – см. рисунок 18).

Рис. 18. Настройка преселектора на центр полосы пропускания



Разница в амплитудных показаниях на частоте 38 ГГц между настроенным (голубой график) и ненастроенным (желтый график) преселектором показана на рисунке 19 в масштабе 3 дБ на деление. Как видно из графиков, разница составляет величину порядка 1 дБ.

Рис. 19. Разница в амплитудных показаниях между настроенным и ненастроенным преселектором



Следует обратить внимание, что амплитудная коррекция, обеспечиваемая центровкой преселектора, не обязательно положительная. Как видно из рисунка 19, она может быть также отрицательной.

ВНИМАНИЕ!

Заводская калибровка частотной неравномерности СВЧ тракта анализатора осуществляется при настроенном преселекторе. Поэтому все спецификации прибора, относящиеся к точности измерения амплитуды, предполагают, что преселектор настроен на центр полосы пропускания. Для максимальной точности измерения уровня следует предварительно выполнить центровку преселектора. Эту процедуру следует выполнять относительно частотно стабильного сигнала.

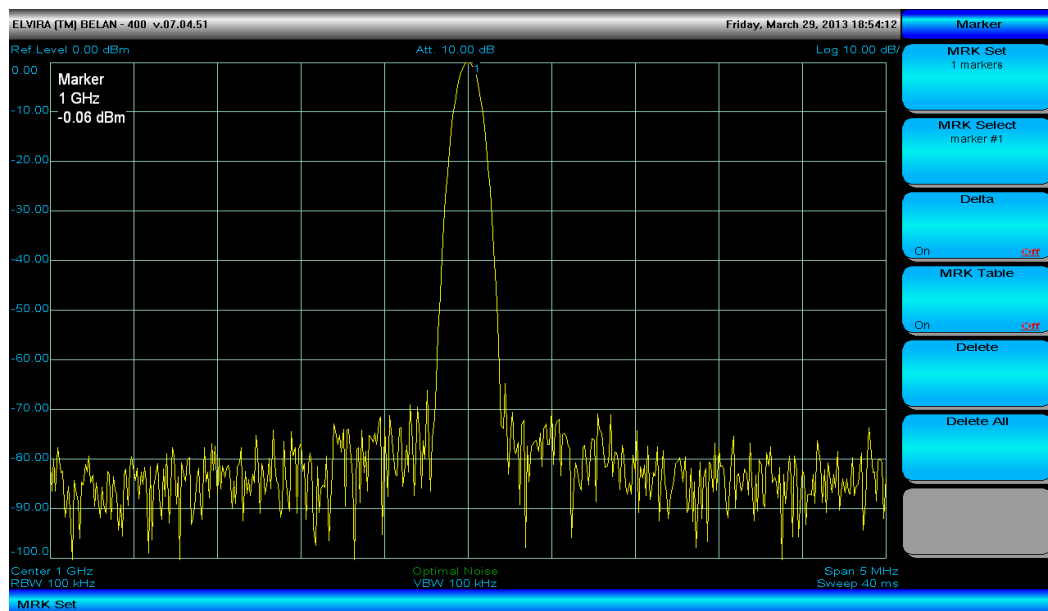
Программная клавиша **More->** обеспечивает доступ к двум дополнительным клавишам: **Preamplifier** и **Optimum**. Клавиша **Preamplifier** включает и выключает опциональный предварительный усилитель с коэффициентом усиления 30 дБ (опция 005 добавляет МШУ, работающий от 10 МГц до 3 ГГц, опция 05х добавляет МШУ, работающий от 3 ГГц до верхней частотной границы анализатора). Если МШУ включен, то под нижней линией масштабной сетки в центре экрана отображается надпись зеленого цвета **"Preamp.ON"**. Если в анализаторе опции 005 или 05х не установлены, программная клавиша **Preamplifier** деактивируется. Если МШУ отключен или не установлен, то в центре экрана будет отображаться либо надпись **"Optimal Noise"**, либо **"Optimal IMD"**. Это два режима оптимизации параметров СВЧ тракта анализатора, которые переключаются программной клавишей **Optimum**. Первый режим (**"Optimal Noise"**) обеспечивает в тракте большее усиление и, следовательно, меньший коэффициент шума, но несколько ухудшенные параметры линейности. Второй режим (**"Optimal IMD"**) ухудшает коэффициент шума, но обеспечивает максимальную линейность тракта: наилучшие параметры по вносимым гармоническим и интермодуляционным искажениям.

В анализаторе спектра со всеми опциями есть три режима СВЧ тракта: режим включенного МШУ, который обеспечивает минимальный коэффициент шума и худшие параметры линейности, режим сбалансированного коэффициента шума (**"Optimal Noise"**) – средний коэффициент шума и средние параметры линейности, режим минимальных искажений (**"Optimal IMD"**) – максимальный коэффициент шума и минимальные вносимые искажения. Пользователь может выбрать один из трех режимов исходя из требований, которые являются критическими для конкретного приложения.

2.19. Управление маркером

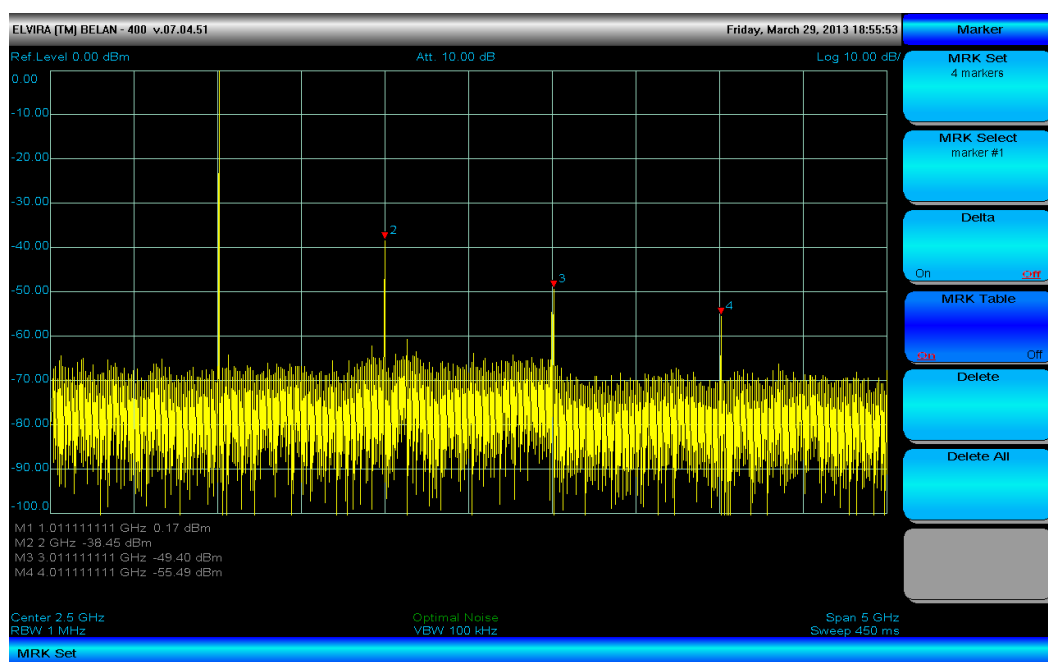
Маркер может быть изначально активирован двумя способами: нажатием на кнопку **MRK** или же на кнопку **SEARCH** в секции маркерных клавиш на передней панели прибора.

Рис. 20. Программные клавиши, связанные с кнопкой MRK



Если нажата кнопка **MRK**, маркер # 1 появится на экране на центральной частоте (см. рисунок 20). Этот маркер является активным и отмечен треугольником зеленого цвета с соответствующей цифрой. Значение частоты и уровня сигнала в точке маркера выводится белым шрифтом в левом верхнем углу масштабной сетки. Если для активации маркера нажата кнопка **SEARCH**, на экран также выводится маркер #1, но он будет установлен на пик сигнала (который не обязательно приходится на центральную частоту).

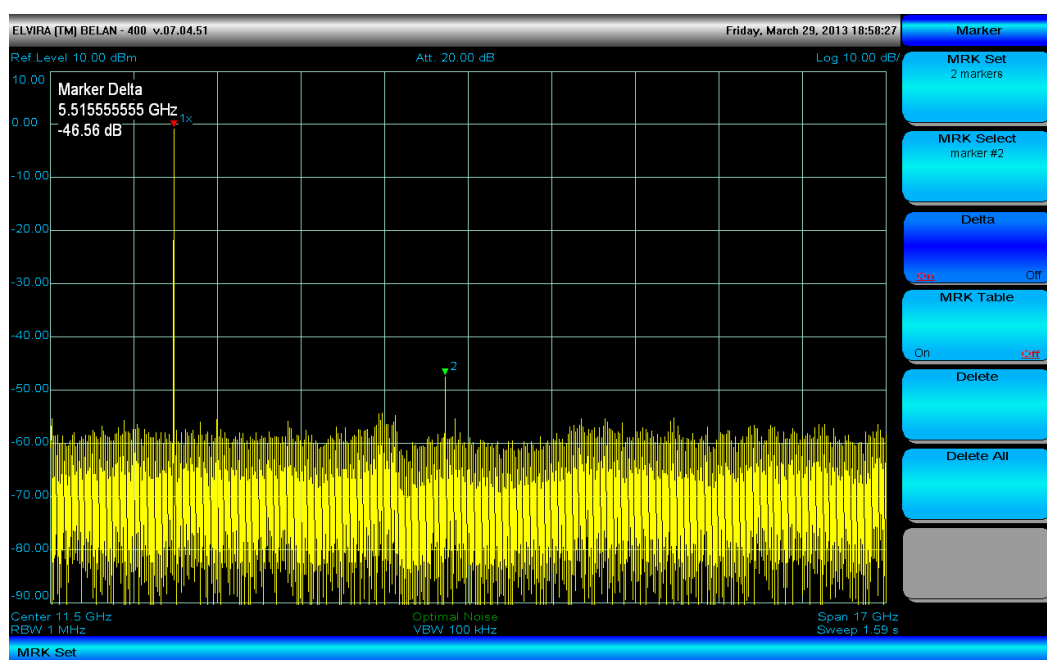
Рис. 21. Анализ спектра с использованием таблицы маркеров



Для перемещения маркера по графику следует вращать рукоятку плавной регулировки данных. Также положение маркера можно задать вводом частоты напрямую с клавиатуры. Если введенное значение частоты находится за пределами полосы обзора, маркер будет выставлен на границу экрана, максимально близкую к введенной частоте по значению.

Нажатие на программную клавишу **Set MRK** активирует маркер # 2. Последний вызванный маркер (# 2 в данном случае) становится активным. Отображаемое в левом верхнем углу значение частоты и уровня всегда соответствует положению активного маркера. Таким способом на графике можно установить до 8 маркеров. Программная клавиша **Delete** удаляет маркер, вызванный последним. Для того чтобы удалить все маркеры, следует нажать программную клавишу **Delete all**. Программная клавиша **MRK Select** позволяет переключаться между маркерами на экране. Номер активного маркера выводится в программной клавише **MRK Select**. Только один маркер может быть активным в заданный момент времени. На экран можно вывести одновременно показания всех маркеров, используя программную клавишу **MRK Table**. Когда эта клавиша нажата, под масштабной сеткой появляется таблица с частотными и амплитудными значениями всех установленных маркеров (см. рисунок 21).

Рис. 22. Измерение уровня второй гармоники относительно основного колебания при помощи дельта-маркера



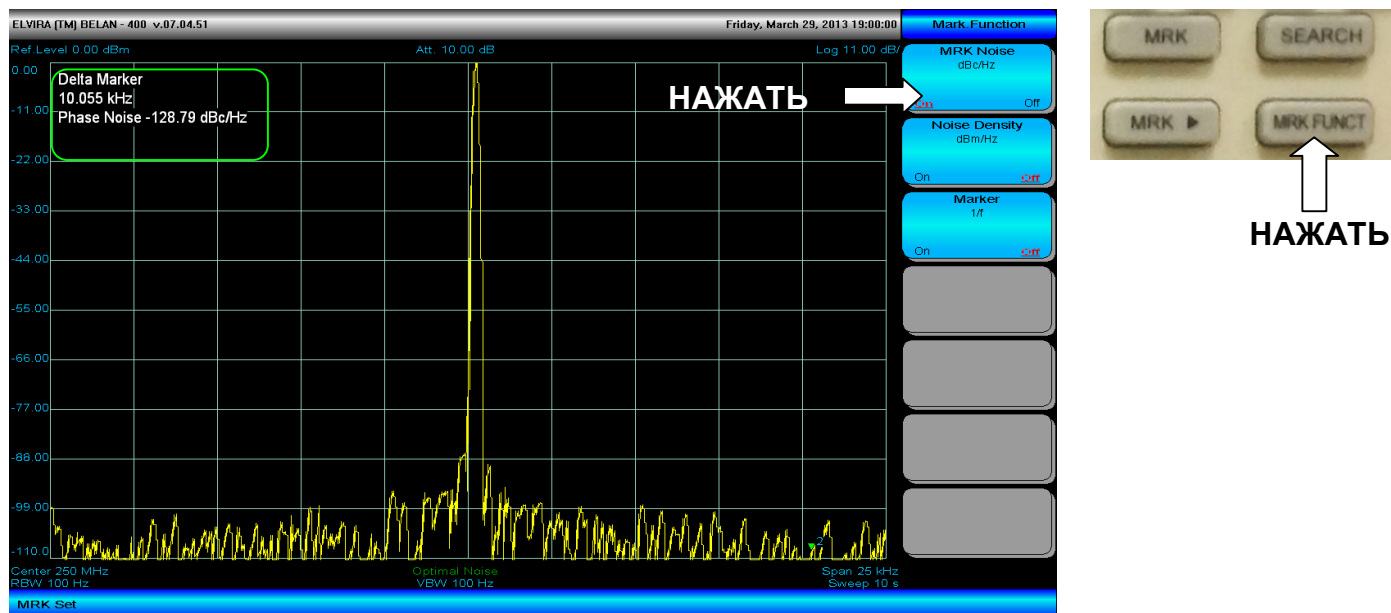
Если необходимо произвести измерение разности частот или амплитуд между двумя точками измерительной трассы, следует установить в эти точки два маркера и активировать режим дельта-маркера (нажатием на программную клавишу **Delta**). Маркер, установленный первым, будет по умолчанию опорным, относительно которого производится измерение (он будет помечен символом "x"). В качестве альтернативного способа можно нажать кнопку **SEARCH**, затем кнопку **MRK**, затем программную клавишу **Delta** и при помощи рукоятки плавной регулировки установить дельта-маркер в нужную точку на графике. Пример использования дельта-маркера для определения уровня второй гармоники относительно основного колебания показан на рисунке 22. Следует обратить внимание, что если дельта-маркер активируется, когда на экране находится более двух маркеров, относительное измерение будет осуществлено между опорным маркером (отмеченным символом "x") и активным маркером (отмеченным треугольником зеленого цвета). Нажимая **MRK Select**, можно переключать измерение дельта-маркера между разными парами маркеров.

Кнопка **MRK FUNCT** обеспечивает доступ к меню из трех программных клавиш, которые позволяют производить определенные функциональные вычисления на основании маркерных данных.

Первая из них – это клавиша **MRK Noise**. Она работает только в режиме дельта-маркера. Эта клавиша приводит данные измерения дельта-маркера в полосу 1 Гц. Подобное измерение чаще всего используется для определения точечного значения фазового шума на фиксированной отстройке от несущей частоты. Чтобы выполнить это измерение, необходимо нажать кнопку **SEARCH**, затем кнопку **MRK**, затем клавишу **Delta**, при помощи рукоятки плавной регулировки установить дельта-маркер на интересующую отстройку,

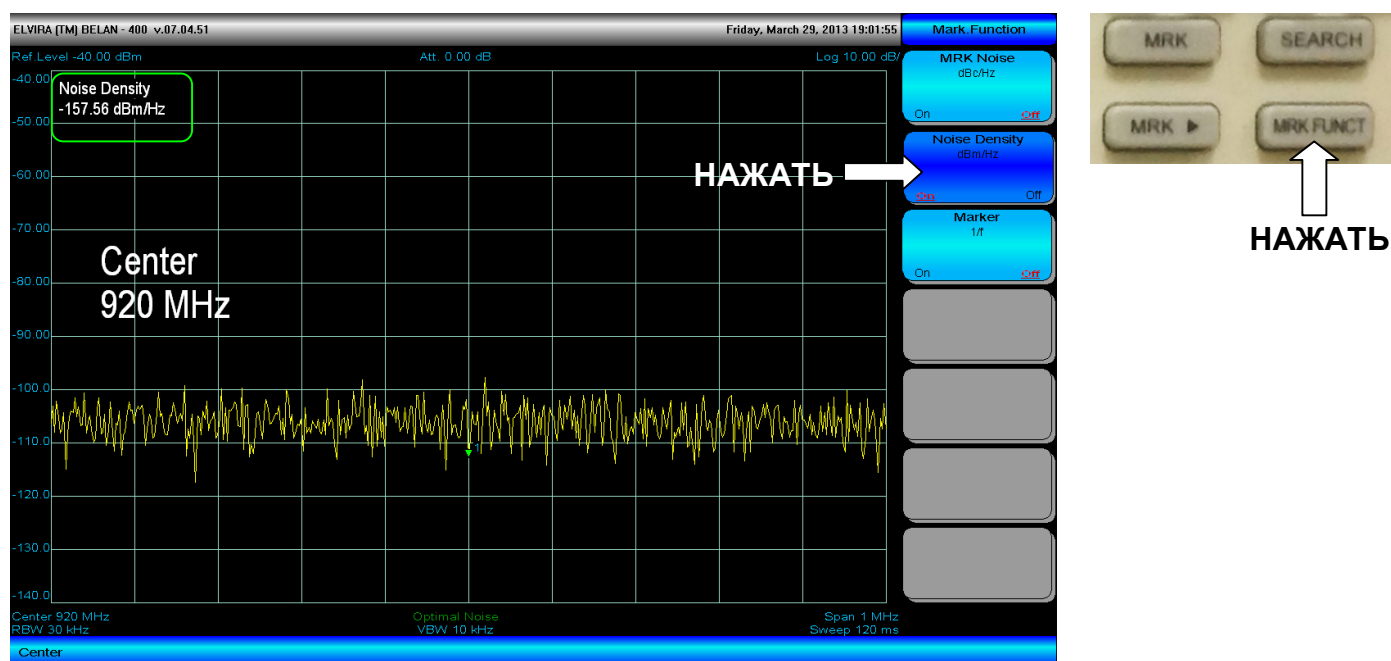
затем нажать кнопку **MRK FUNCT** и, наконец, программную клавишу **MRK Noise**. Уровень фазовых шумов в одиночной боковой полосе в дБн/Гц будет отображен в левом верхнем углу масштабной сетки (как показано на рисунке 23). Если измеряемый уровень фазовых шумов достаточно низкий, следует увеличить вертикальный масштаб (например, с 10 дБ/деление до 11 дБ/деление, как на рисунке 21).

Рис. 23. Измерение фазовых шумов в точке с использованием дельта-маркера и функции MRK Noise



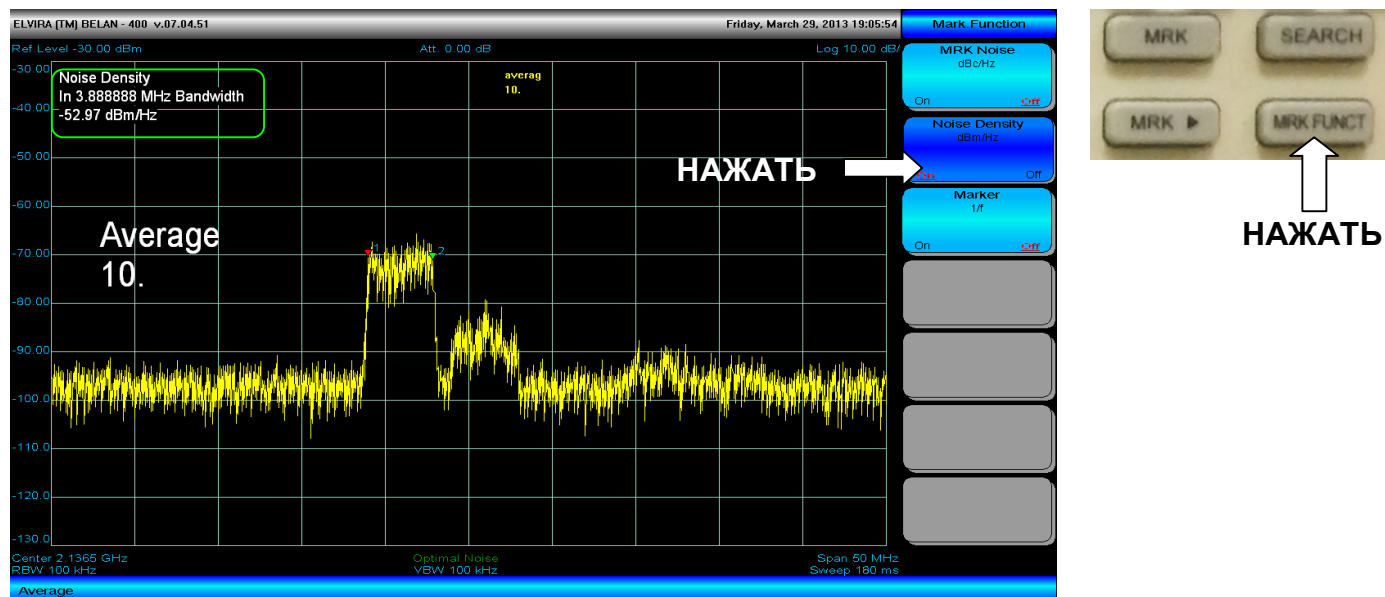
Вторая функциональная клавиша, связанная с кнопкой **MRK FUNCT**, это - **Noise Density**. Эта клавиша может работать как с одиночным маркером, так и в режиме дельта-маркера. В режиме одиночного маркера данная клавиша автоматически пересчитывает измеренное значение уровня в полосу 1 Гц. Это бывает полезно для быстрой оценки чувствительности прибора на конкретной частоте, а также спектральной плотности мощности шума на выходе объекта измерения (например, усилителя). Пример такого измерения приведен на рисунке 24.

Рис. 24. Оценка чувствительности в режиме одиночного маркера при помощи функции Noise Density



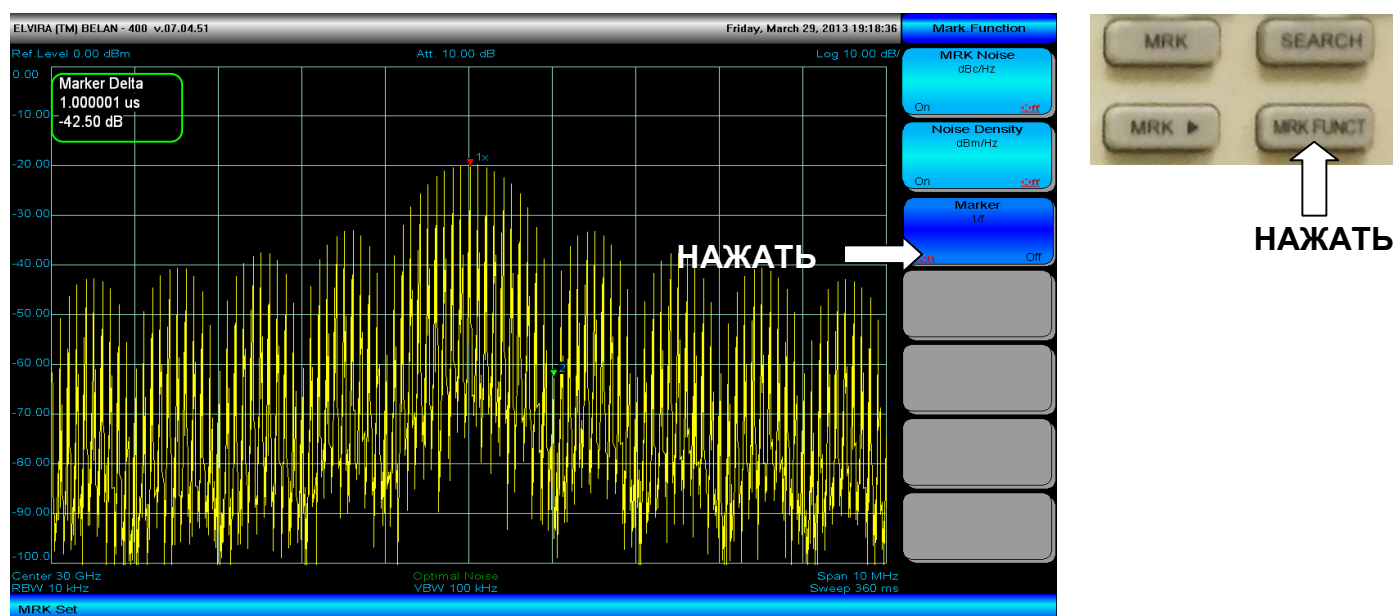
Использование программной клавиши **Noise Density** в режиме дельта-маркера позволяет рассчитать значение спектральной плотности мощности в полосе, заданной двумя маркерами. На рисунке 25 приведен пример эфирного измерения спектральной плотности мощности на сигнале 3G с использованием функции **Noise Density**.

Рис. 25. Измерение спектральной плотности мощности на сигнале 3G в режиме дельта-маркера с использованием функции Noise Density



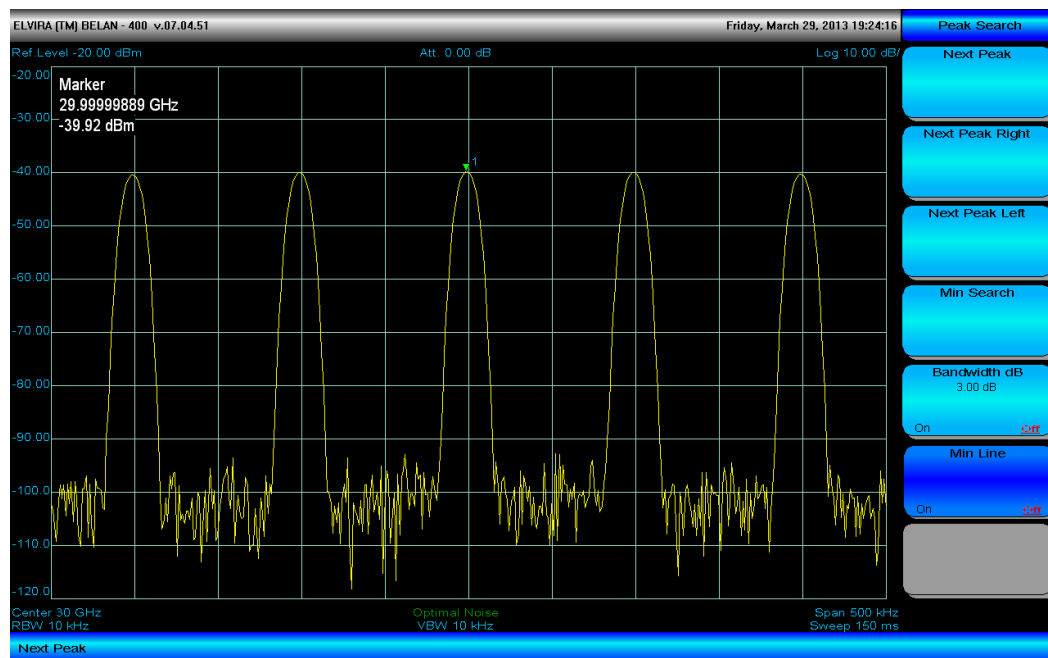
Третья функциональная клавиша, связанная с кнопкой **MRK FUNCT**, это - **MRK 1/f**. Клавиша **MRK 1/f** используется для вычисления величины, обратной той, которая измерена дельта-маркером (как следствие, данная клавиша не работает в режиме одиночного маркера). Данная функция может быть полезной, например, при измерении импульсных сигналов. Если измерить разницу по частоте между центральной частотой основного лепестка радиоимпульса и его первым нулем, то величина, обратная измеренной, составит длительность радиоимпульса (см. рисунок 26). Таким же образом измерение разницы по частоте между двумя соседними гармониками в радиоимпульсе и вычисление обратной величины при помощи функции **MRK 1/f** позволяет рассчитать период повторения радиоимпульса.

Рис. 26. Измерение длительности радиоимпульса при помощи функции MRK 1/f



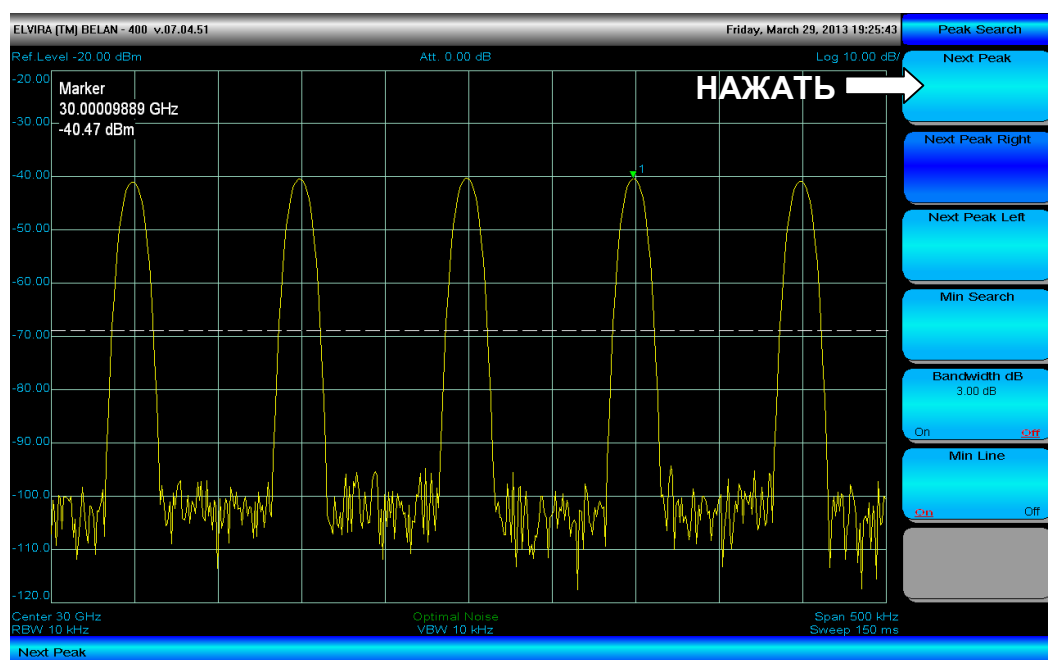
Одна из наиболее частых операций, выполняемых в процессе работы на анализаторе спектра, это поиск максимума сигнала. Для установки маркера на максимум сигнала нужно нажать кнопку **SEARCH** на передней панели прибора. После нажатия на кнопку **SEARCH** на экране анализатора будет отображено меню из программных клавиш, показанное на рисунке 27.

Рис. 27. Программные клавиши, связанные с кнопкой SEARCH



Если нажать на программную клавишу **Next Peak**, маркер переместится на следующий пик сигнала.

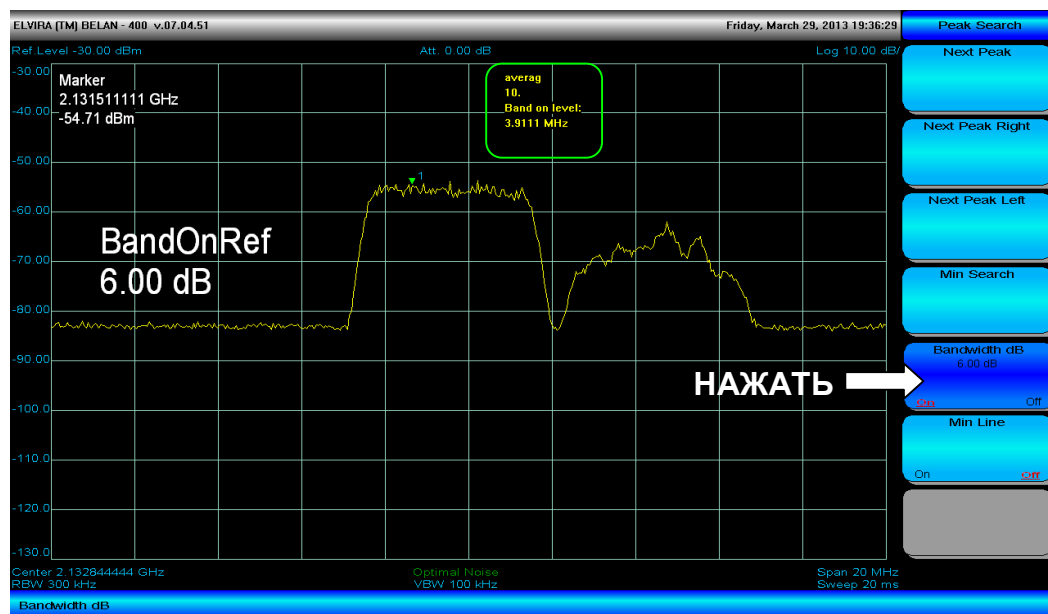
Рис. 28. Перемещение маркера между пиками сигнала



Нажатие клавиши **Next Peak Right** перемещает маркер на ближайший пик справа от сигнала. Аналогичным образом нажатие клавиши **Next Peak Left** поставит маркер на ближайший пик слева от сигнала. Клавиша

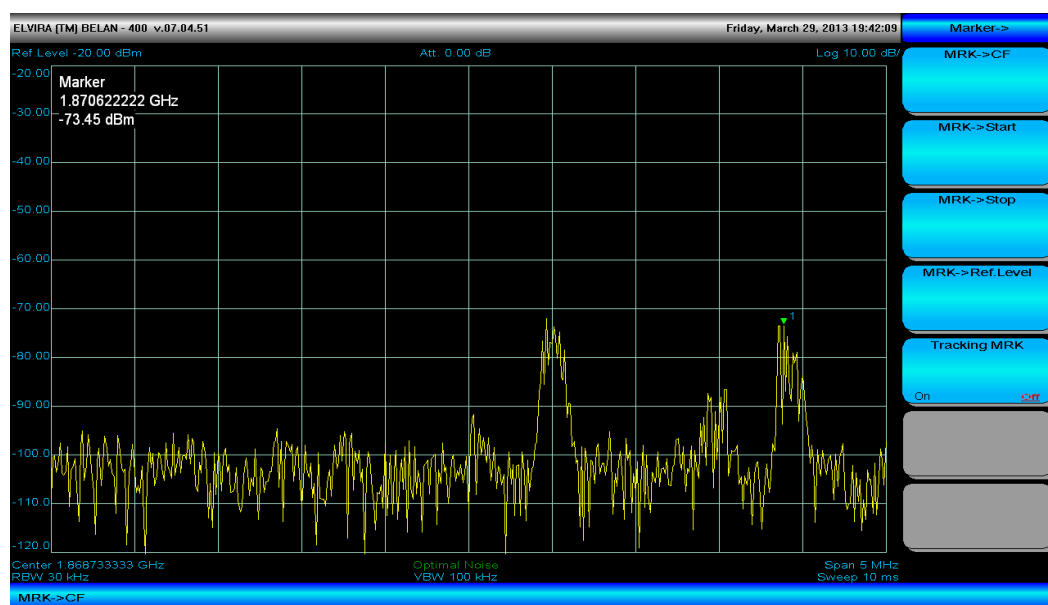
Min Search позволяет установить маркер в точку измерительной трассы с минимальным уровнем. Программная клавиша **Min Line** используется для установки порогового значения поиска. Горизонтальная пороговая пунктирная линия перемещается по вертикали при помощи кнопок пошаговых операций («**вверх**» и «**вниз**»). Если установлен порог, например, в -68 дБм, прибор будет игнорировать все пики ниже указанного уровня (см. рисунок 28). В действительности, программную клавишу **Min Line** следует всегда использовать при поиске соседних пиков относительно исследуемого сигнала. В противном случае, прибор будет интерпретировать как пики шумовые выбросы на измерительной трассе.

Рис. 29. Измерение полосы сигнала по уровню -6 дБ



Программная клавиша **Bandwidth dB** (см. рисунок 29) позволяет рассчитать полосу сигнала на заданном уровне ниже максимума (по умолчанию используется уровень -3.00 дБ). Для проведения такого измерения маркер необходимо предварительно установить на максимум сигнала.

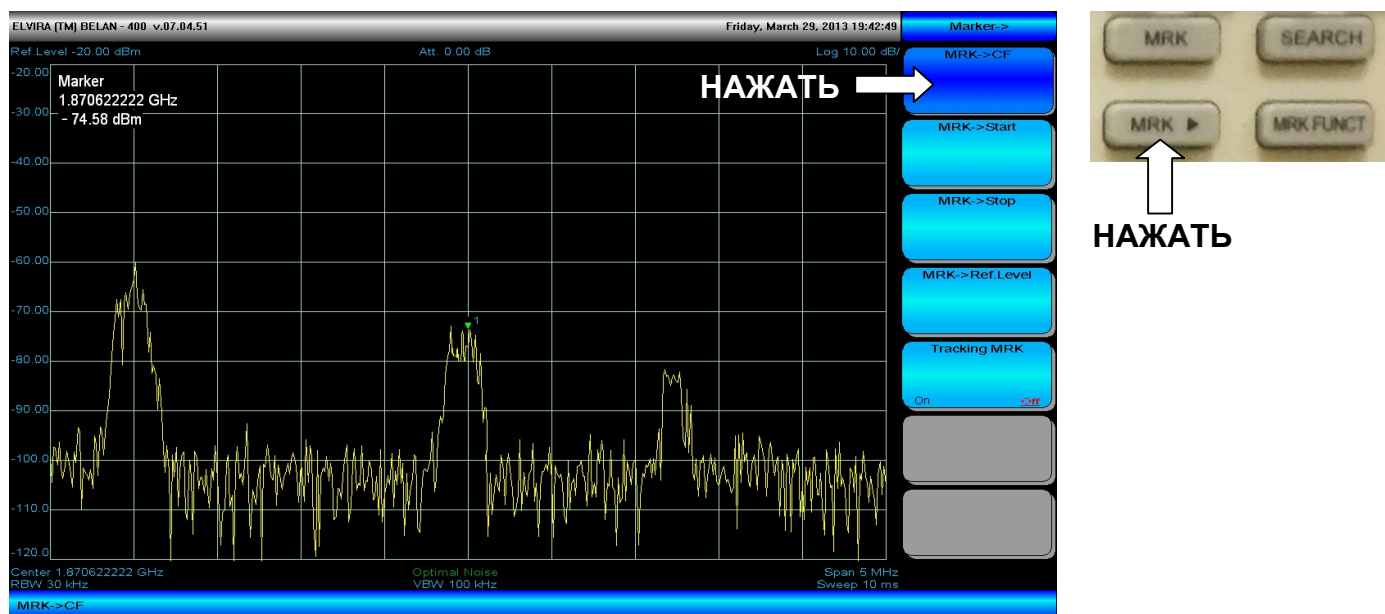
Рис. 30. Программные клавиши, связанные с кнопкой MRK→



Кнопка **MRK**→ в секции маркерных клавиш используется для изменения частотных и амплитудных настроек прибора в соответствии с положением маркера. Программные клавиши, относящиеся к данной кнопке, показаны на рисунке 30.

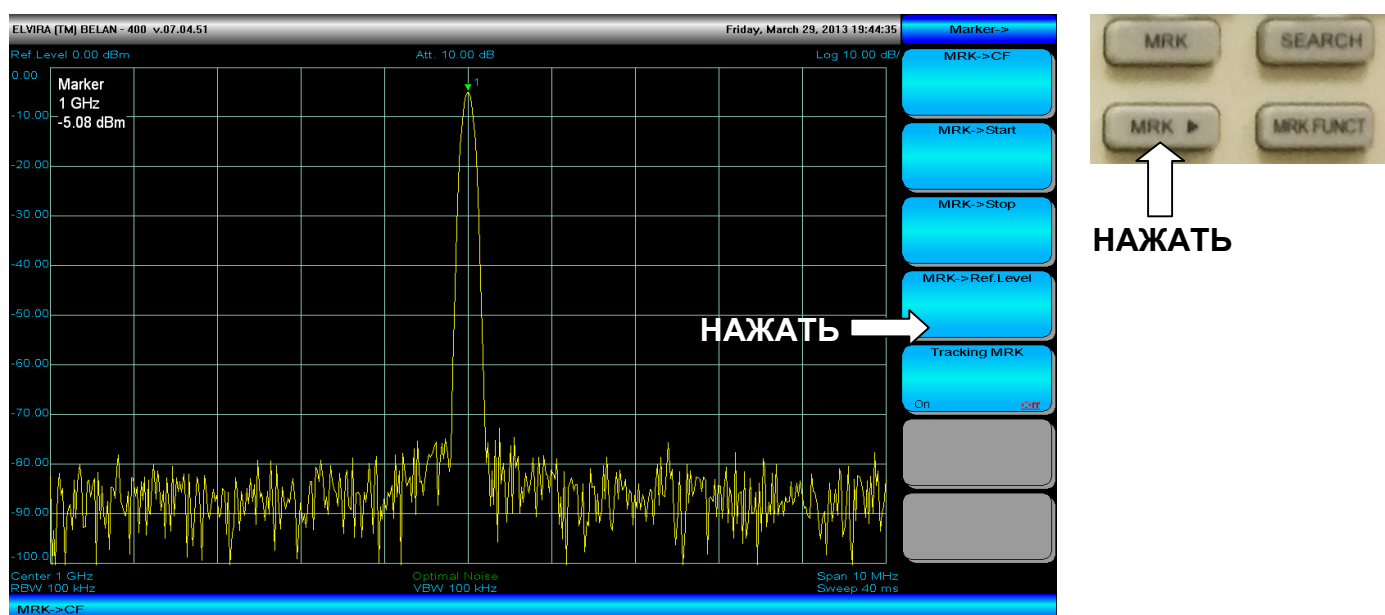
Для того чтобы сделать центральную частоту настройки анализатора равной частоте маркера, следует установить маркер в интересующую точку графика и нажать клавишу **MRK**→ **CF**. Это – одна из наиболее часто выполняемых операций на анализаторе спектра. В качестве примера показано, как сигнал базовой станции GSM-1800, отмеченный маркером на предыдущем рисунке 28, перемещен в центр полосы обзора на рисунке 31.

Рис. 31. Перемещение сигнала в центр полосы обзора при помощи клавиши MRK→ CF



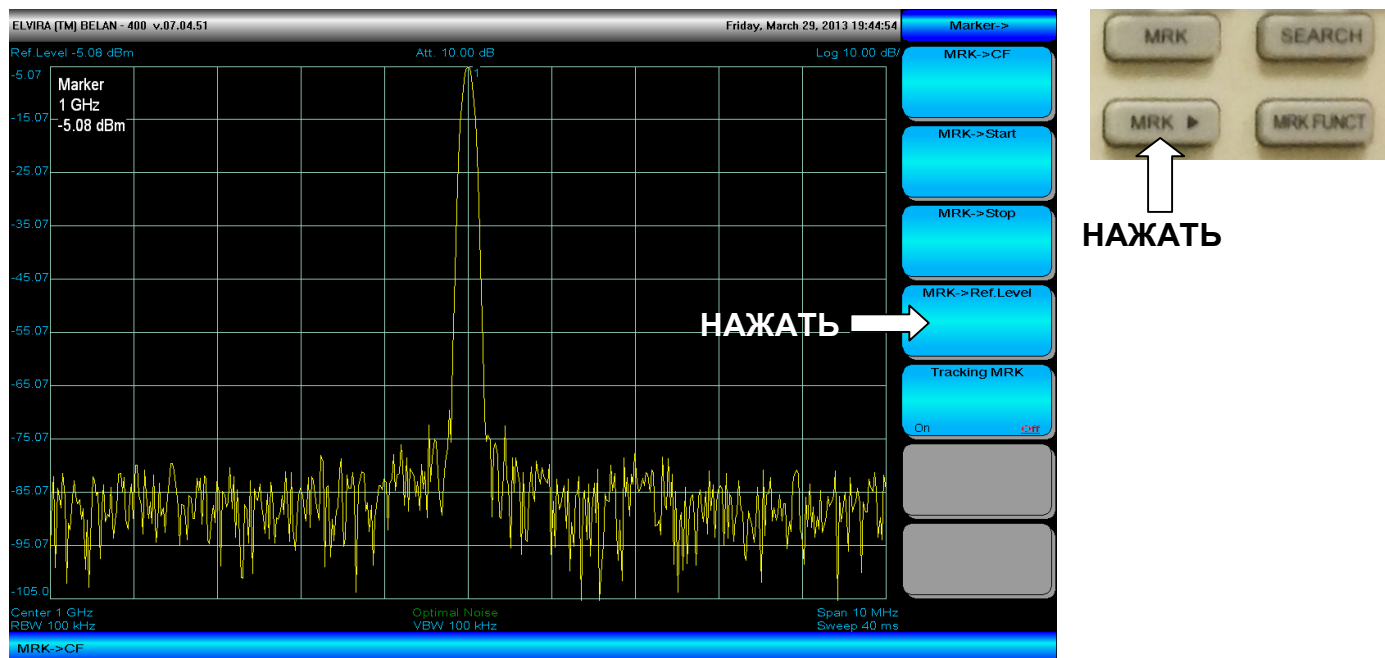
Для установки начальной частоты, равной частоте маркера, следует нажать **MRK**→ **Start**.
Для установки конечной частоты, равной частоте маркера, следует нажать **MRK**→ **Stop**.

Рис. 32. Поиск пика перед использованием клавиши MRK→ Ref.Level



Для того чтобы сделать значение опорного уровня равным амплитуде, измеренной в точке маркера, следует нажать кнопку **SEARCH**, затем кнопку **MRK→** и затем программную клавишу **MRK→Ref Level** (см. рисунок 32). Результат данной операции показан на рисунке 33. Эта функция обыкновенно используется для проведения измерений, требующих максимальной динамики анализатора: например, для измерения интермодуляционных искажений или измерения фазовых шумов.

Рис. 33. Результат нажатия программной клавиши MRK→Ref Level

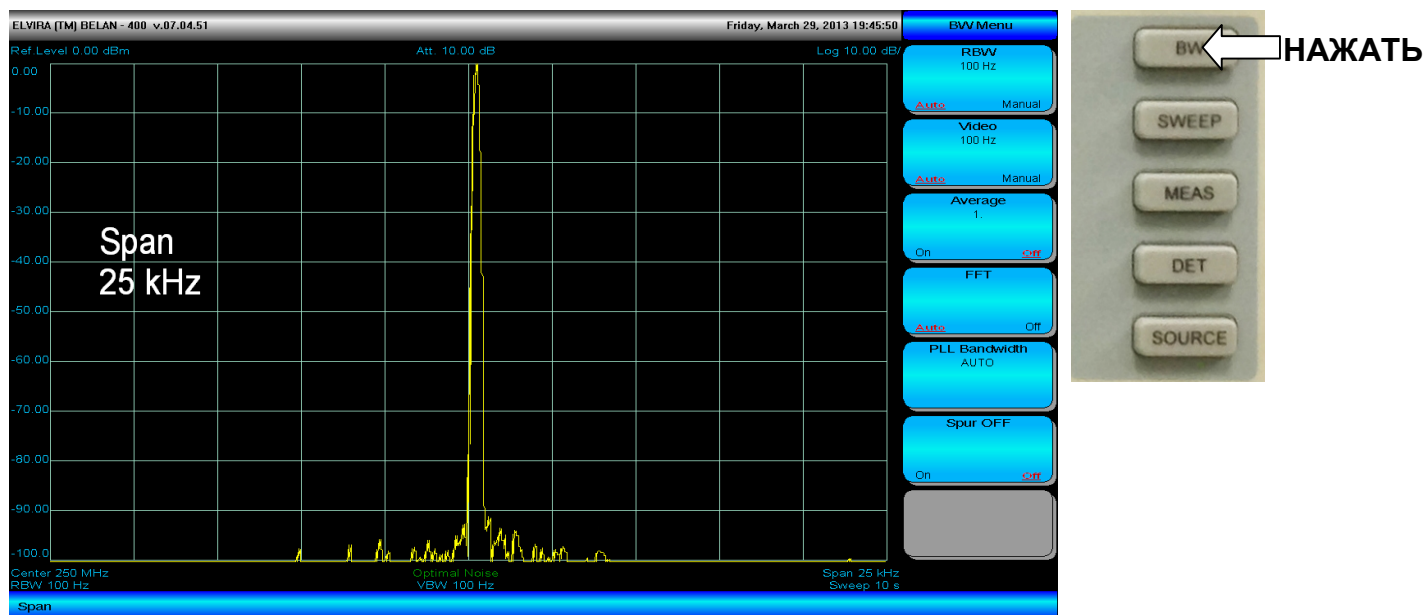


Программная клавиша **Tracking MRK** служит для автоматизации процедуры поиска максимума сигнала с последующей установкой его в центр полосы обзора. Когда следящий маркер активирован, прибор будет автоматически отслеживать сигнал максимального уровня и ставить его по центру экрана при сужении полосы обзора. Этот тип маркера очень полезен при всех измерениях, когда сигнал сначала регистрируется в широкой полосе (например, при запуске генератора) а затем детально исследуется в узкой на предмет качества спектра. В этом режиме дельта-маркер деактивируется.

2.20. Регулировка полосы пропускания и усреднение

Для изменения полосы пропускания, параметров видео фильтра, а также для выполнения усреднений необходимо нажать кнопку **BW** в секции функциональных клавиш. Программные клавиши, связанные с кнопкой **BW** показаны на рисунке 34.

Рис. 34. Программные клавиши, связанные с кнопкой BW



В анализаторах спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» реализовано два вида цифровых фильтров: фильтры разверточного типа и фильтры БПФ (быстрого преобразования Фурье). Фильтры разверточного типа реализованы от 10 Гц до 3 МГц с кратностью шага 1, 3, 10. БПФ фильтры представлены набором полос пропускания от 1 Гц до 3 кГц (также с кратностью шага 1, 3, 10). По умолчанию для полос пропускания ≤ 3 кГц используются фильтры БПФ, а для полос пропускания более 3 кГц – цифровые фильтры разверточного типа. При работе с полосами пропускания от 10 Гц до 3 кГц пользователь может, вместо фильтров БПФ, включить разверточные фильтры, нажав на клавишу **FFT**, которая выключает и включает автоматический режим выбора между двумя типами фильтров. Разверточные фильтры ≤ 3 кГц имеют несколько лучший динамический диапазон по сравнению с фильтрами БПФ. Однако использование узкополосных фильтров разверточного типа, вместо узкополосных фильтров БПФ (выбираемых по умолчанию), может привести к существенному возрастанию времени измерения (в 100 раз и более в сравнении с фильтрами БПФ). Полосы пропускания 1 Гц и 3 Гц реализованы только в режиме БПФ.

Для проведения корректных измерений критично правильное соотношение между такими параметрами, как время развертки, полоса обзора, полоса пропускания и полоса видео фильтра. По умолчанию в приборе предусмотрено согласованное изменение этих параметров для обеспечения оптимальной точности. Однако оператор может по своему усмотрению изменить любой из них. Если оператор установил произвольное значение параметра, то в соответствующей программной клавише режим параметра изменится с **Auto** на **Manual**.

Для ввода значения ФПЧ (фильтра промежуточной частоты) или видео фильтра необходимо нажать соответствующую программную клавишу, ввести число с клавиатуры и завершить процедуру вводом размерности. Также изменять ФПЧ и видео фильтр можно при помощи кнопок пошаговых операций и рукоятки плавной регулировки. Прибор в этом случае будет последовательно сужать или расширять полосу ПЧ или видео, используя ближайшие значения из набора доступных фильтров.

При сужении ФПЧ средний отображаемый уровень шума прибора уменьшается по формуле:

$$\text{DANL}_{\text{DECREASE, dB}} = 10 \log_{10} (\text{RBW}_1 / \text{RBW}_2) \quad (2.20.1)$$

Этот эффект проиллюстрирован на рисунках 35-36. Очевидно, что использование самого узкого ФПЧ позволяет обнаруживать сигналы с наименьшим уровнем. Нужно помнить, что использование узкополосных фильтров повышает чувствительность, но при этом отрицательно сказывается на скорости проведения измерения. Выбирать оптимальные настройки чувствительности и скорости оператору следует, исходя из требований конкретного приложения.

Рис. 35. Сужение ФПЧ в ручном режиме при помощи кнопок пошаговых операций

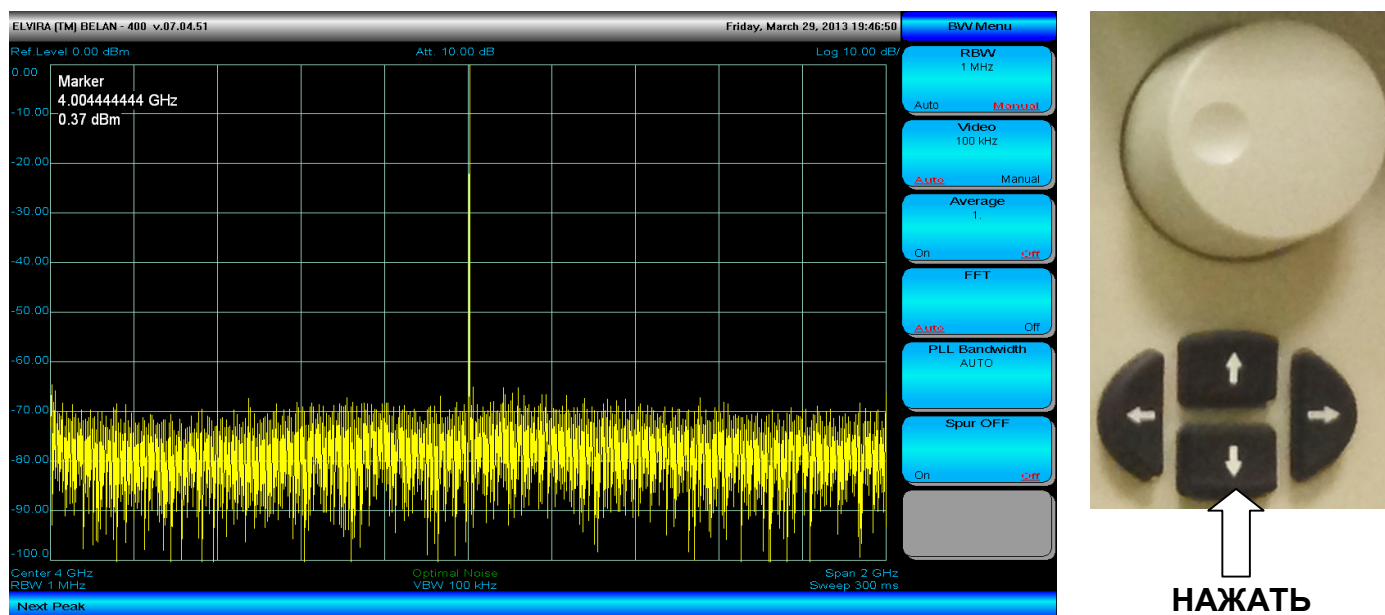
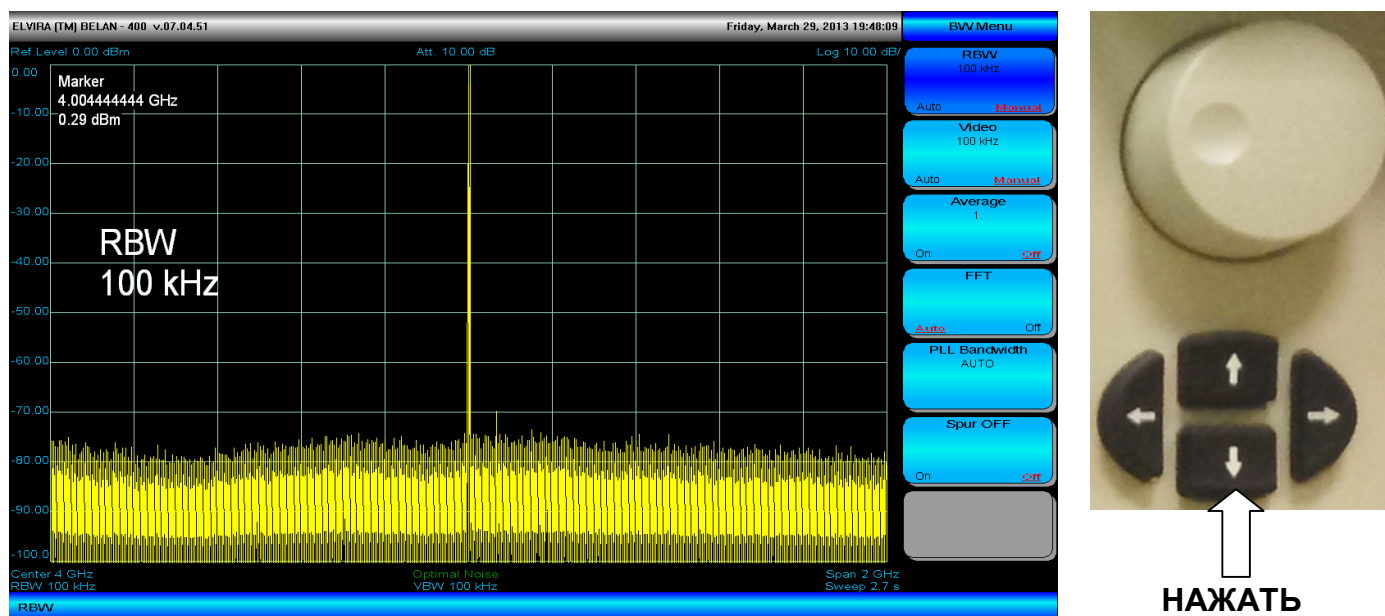


Рис. 36. Снижение уровня шумов при сужении ФПЧ в 10 раз



Для усреднения измерительной трассы нужно нажать программную клавишу **Average**, затем ввести требуемое число усреднений (от 2 до 512) с клавиатуры и подтвердить ввод нажатием на кнопку **ENTER**. Результат 10 усреднений измерительного графика показан на рисунке 37. Усреднение рекомендуется использовать при измерениях стохастических и шумоподобных сигналов (с Гауссовым распределением), в частности, при измерениях фазовых шумов и коэффициента шума. Также усреднение позволяет более

четко различить сигналы малого уровня, лишь незначительно превышающие собственный шумовой порог прибора (см. рисунки 38 и 39).

Рис. 37. Результат 10 усреднений измерительного графика

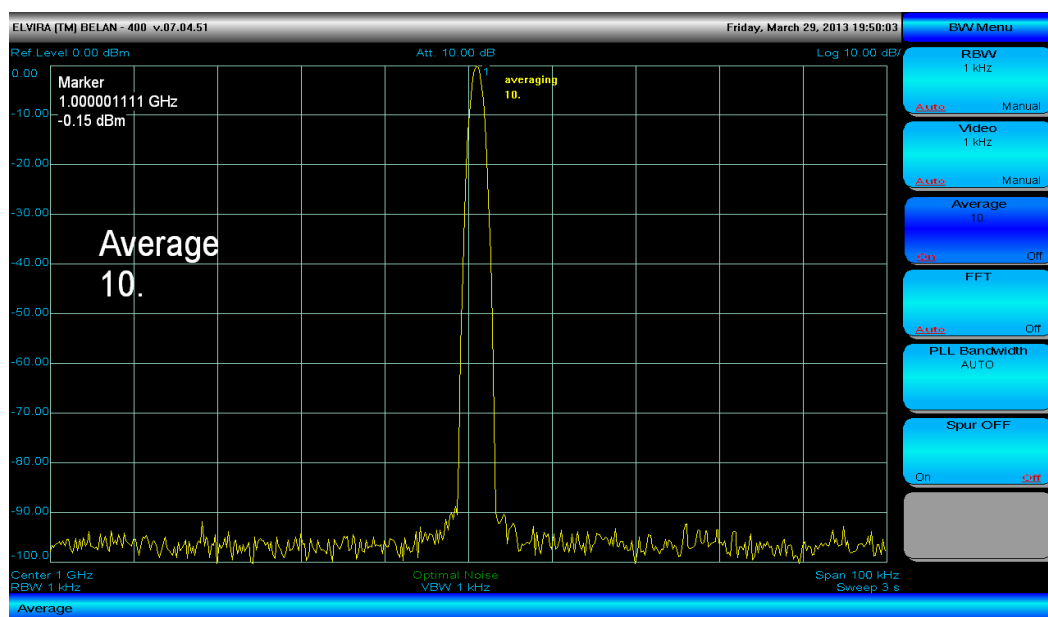
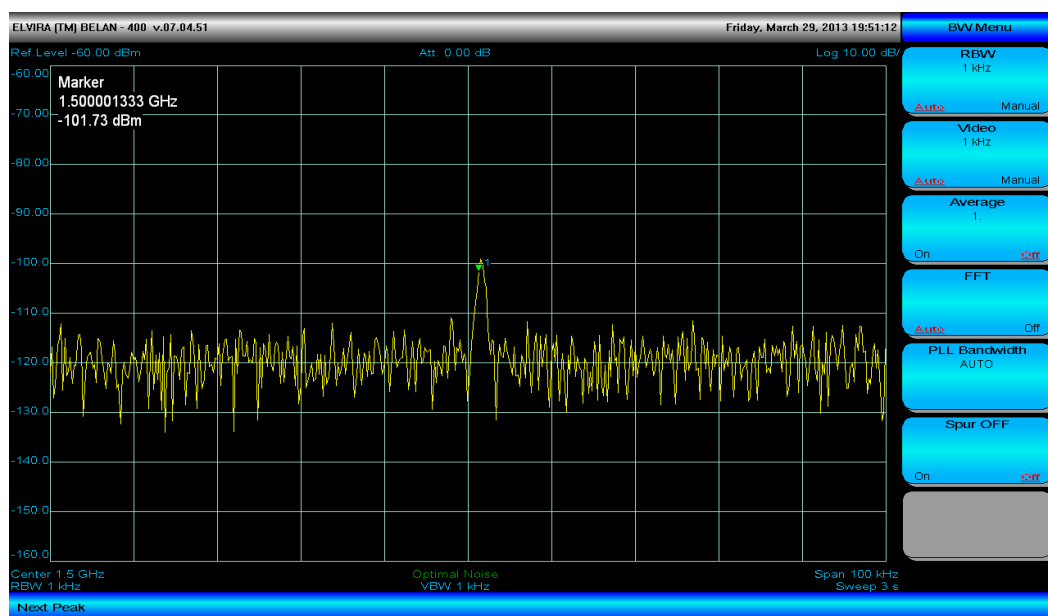


Рис. 38. Измерение сигнала малого уровня без усреднений



Для уменьшения зашумленности измерительной трассы можно также использовать сужение видео фильтра. Сужение видео фильтра в 10 раз эквивалентно проведению 10 усреднений (сравните рисунки 39 и 40). При этом время, которое необходимо для выполнения 10 усреднений и для одной развертки с фильтром видео, уменьшенным в 10 раз, будет практически одинаковым. Усреднение предпочтительнее в том смысле, что первичная информация о сигнале может быть получена уже после первой (быстрой) развертки. Видеофильтрация привлекательна тем, что позволяет после одной развертки (более медленной) сразу получить более точный результат.

Рис. 39. Измерение сигнала с малым уровнем с 10 усреднениями

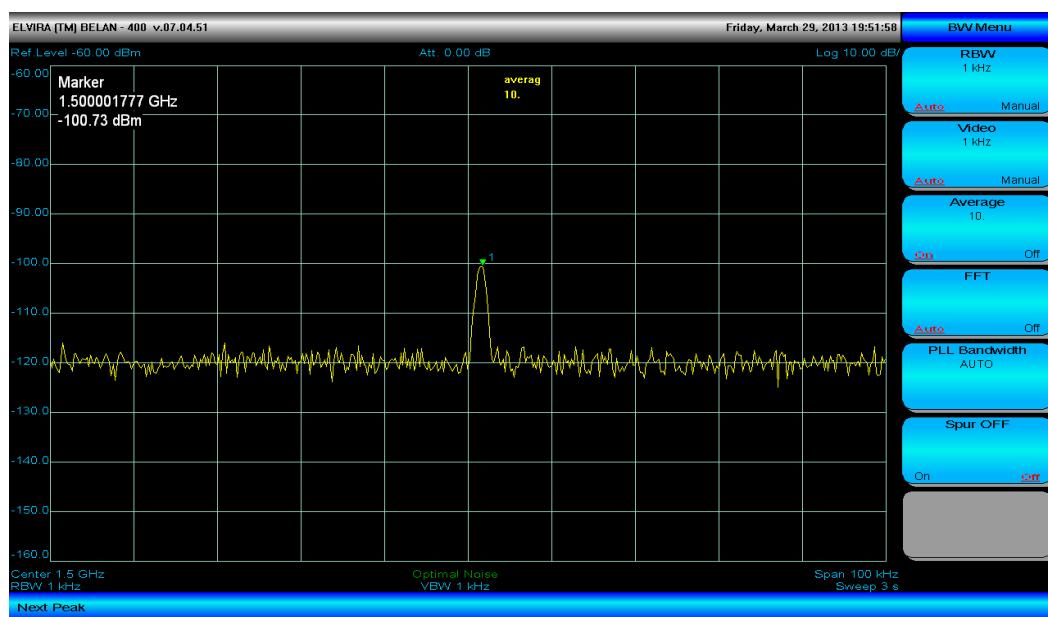
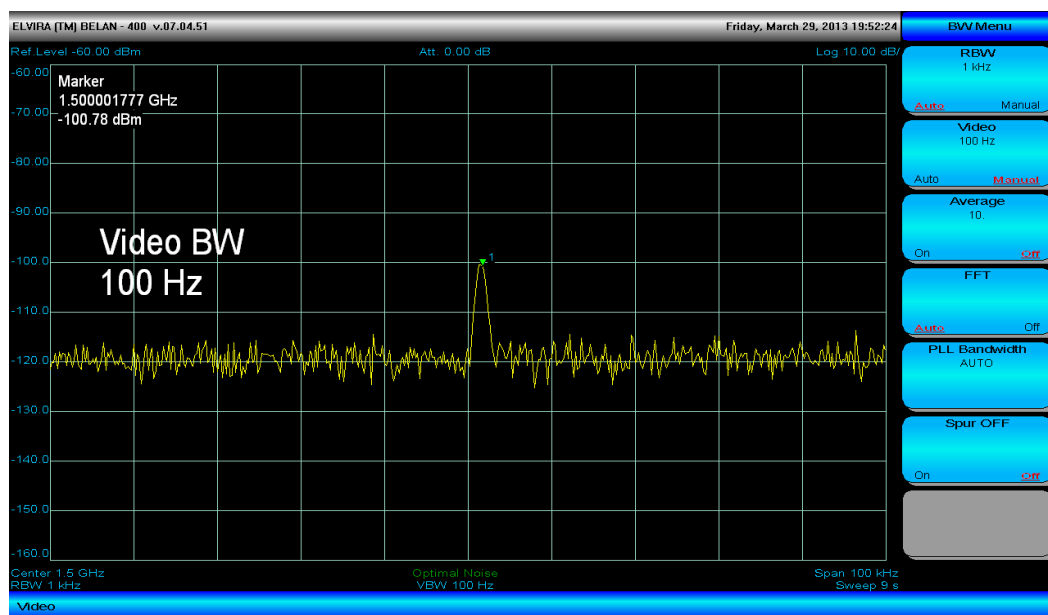


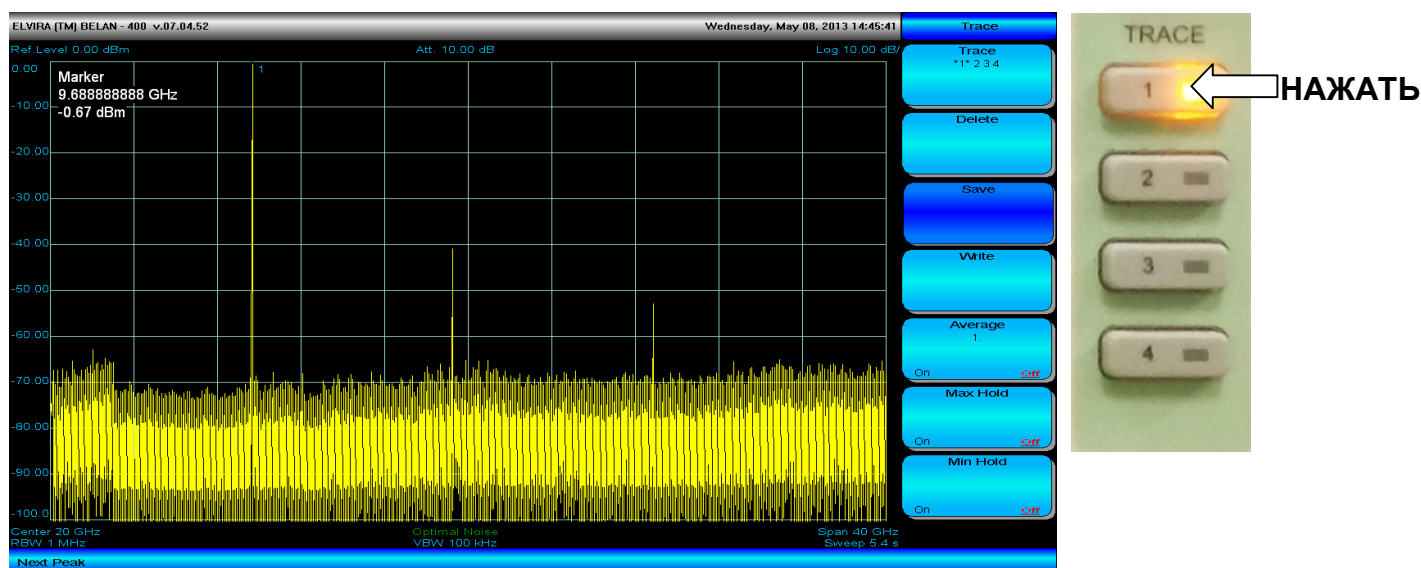
Рис. 40. Измерение сигнала малого уровня при сужении видео фильтра в 10 раз



2.21. Управление графиками

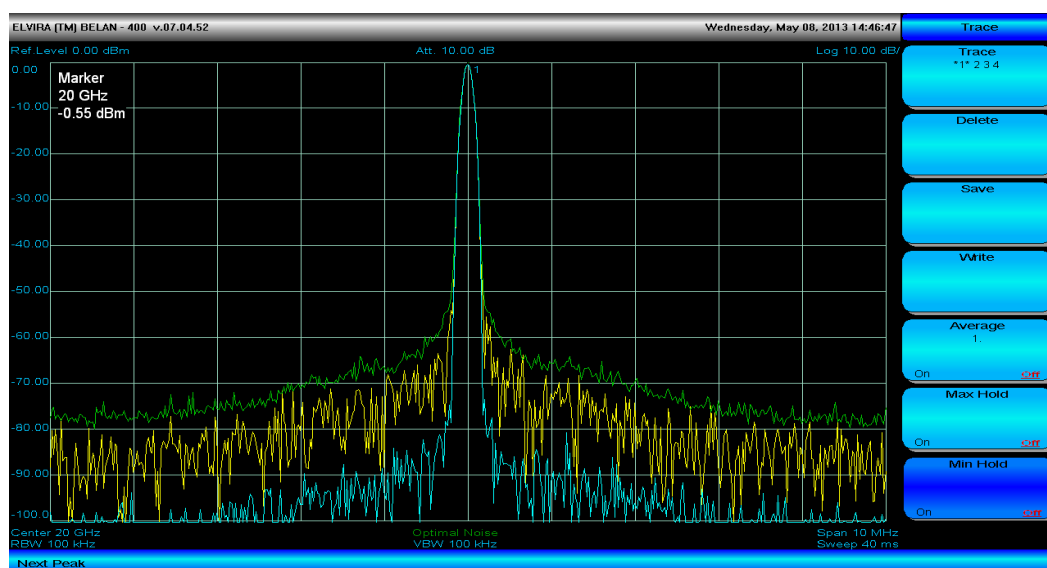
В анализаторах спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» предусмотрена возможность одновременной работы с несколькими измерительными графиками. Управление графиками осуществляется при помощи кнопок «1», «2», «3» and «4» на передней панели прибора и соответствующего набора программных клавиш на сенсорном экране. На экран можно одновременно вывести 4 графика. Каждому графику (#1, #2, #3 и #4) соответствует одноименная кнопка со светодиодной подсветкой того же цвета, что и график. График #1 – желтого цвета, график #2 - зеленого, график #3 – голубого, график #4 - красного. Набор программных клавиш для управления графиком показан на рисунке 41 (этот набор одинаков для всех графиков).

Рис. 41. Программные клавиши, связанные с кнопкой управления графиком



Когда пользователь работает с графиком, кнопка, отвечающая за его управление, будет подсвечиваться светодиодом соответствующего цвета, кроме того, номер активного графика будет выделен звездочками в программной клавише **Trace**. В момент времени активным может быть только один график. Остальные три графика являются сохраненными. По умолчанию активен график #1. Если затем нажата кнопка «2», активным становится график #2, а график #1 замораживается. Аналогичным образом на экран можно вывести графики #3 и #4. Активным будет график, выведенный на экран последним.

Рис. 42. Иллюстрация работы программных клавиш Min Hold и Max Hold



Программная клавиша **Delete** удаляет с экрана выбранный график. Программная клавиша **Save** замораживает активный график в его текущем состоянии (в режиме усреднения, удержания максимума или минимума). Программная клавиша **Write** вновь запускает развертку графика (который прежде был удален или заморожен). Программная клавиша **Average** дублирует аналогичную клавишу из меню **BW** и позволяет выполнить необходимое количество усреднений. Программная клавиша **Max Hold** служит для удержания максимального значения в каждой точке измерительного графика. Программная клавиша **Min Hold** позволяет, наоборот, в каждой точке графика отображать минимальное значение. На рисунке 42 проиллюстрирован эффект удержания максимальных и минимальных значений. График #1 (желтый) отображает исходный спектр сигнала, график #2 (зеленый) – это режим удержания максимума, а график #3 (голубой) – минимума.

Рис. 43. Оценка АЧХ полосового фильтра с использованием функции Max Hold

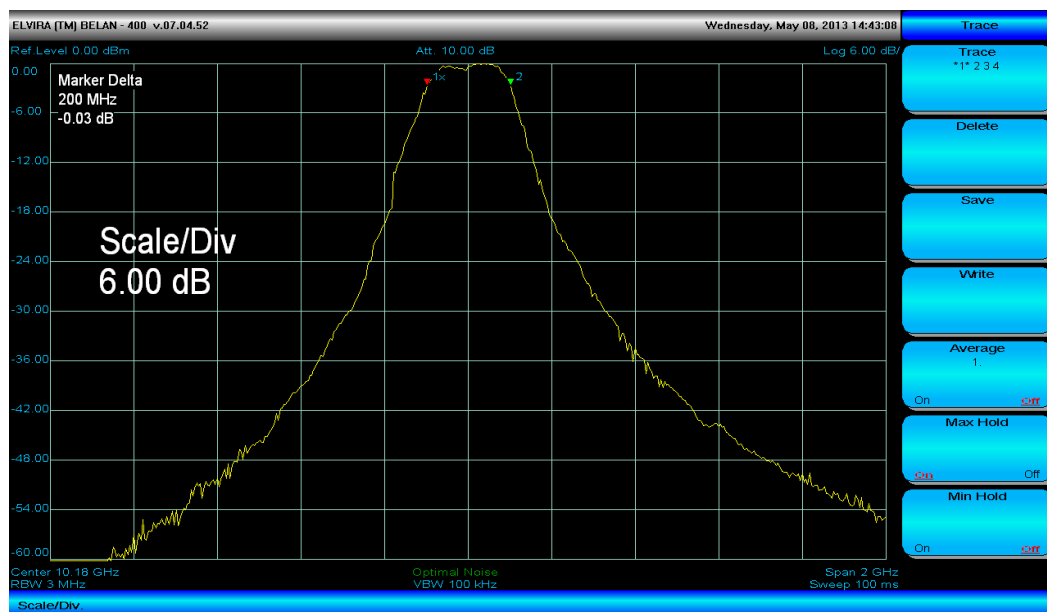
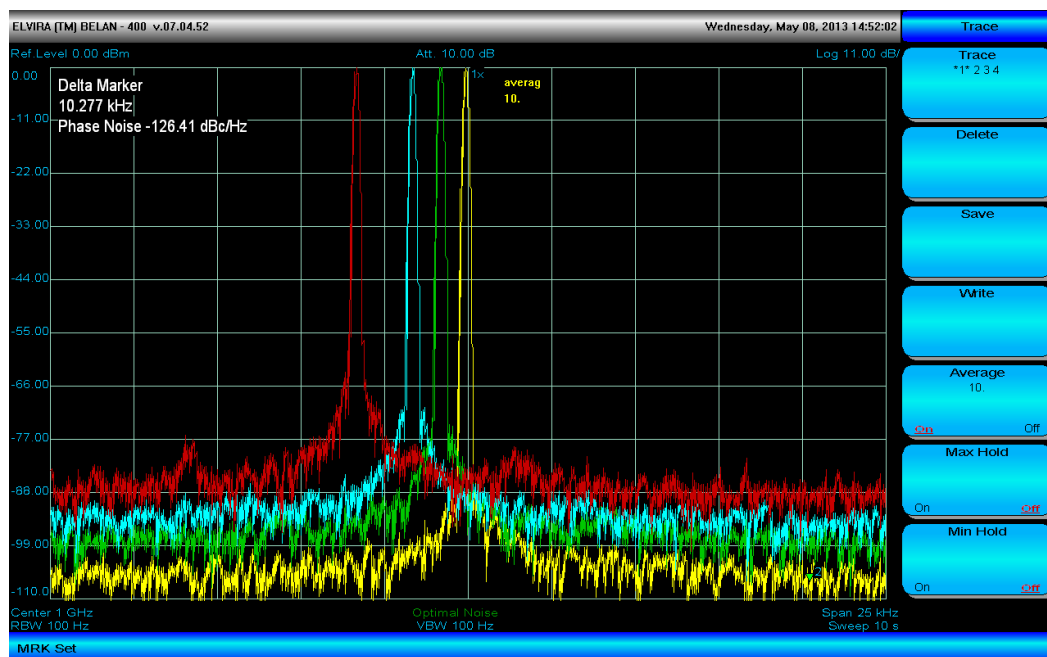


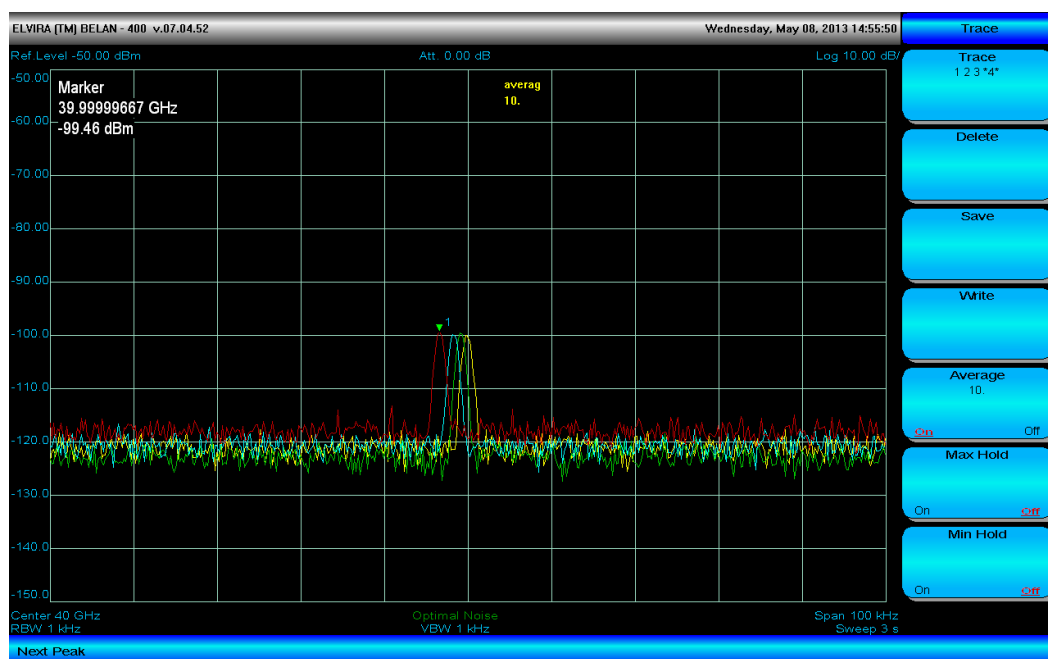
Рис. 44. Измерение фазовых шумов генератора на частотах 1 ГГц, 10 ГГц, 20 ГГц и 40 ГГц в режиме наложения четырех графиков



Режим удержания максимума обыкновенно используется для регистрации иррегулярных событий при эфирных измерениях и радиомониторинге, а также при поиске неисправностей при разработке радиоустройств. Также режим удержания максимума (в сочетании с внешним генератором качающейся частоты) может использоваться для оценки амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) различных СВЧ устройств. На рисунке 43 показан пример измерения АЧХ полосового фильтра 10.18 ГГц с полосой 200 МГц по уровню -3 дБ. Для выполнения правильного измерения АЧХ в режиме удержания максимума следует помнить, что скорость сканирования внешнего генератора должна быть ниже, чем скорость развертки анализатора спектра. В противном случае, для снятия АЧХ может потребоваться очень большое количество разверток. Также следует иметь в виду, что точность подобных измерений четырехполюсников невысока, поскольку анализатор спектра не применяет никакой коррекции системных ошибок (рассогласования, частотной неравномерности), которая используется в специализированных анализаторах цепей.

Режим удержания минимальных значений может быть полезен при демодуляции АМ и ЧМ сигналов для различения случайного и импульсного шума.

Рис. 45. Чувствительность «СК4-БЕЛАН 400М» на частотах 1 ГГц, 10 ГГц, 20 ГГц и 40 ГГц



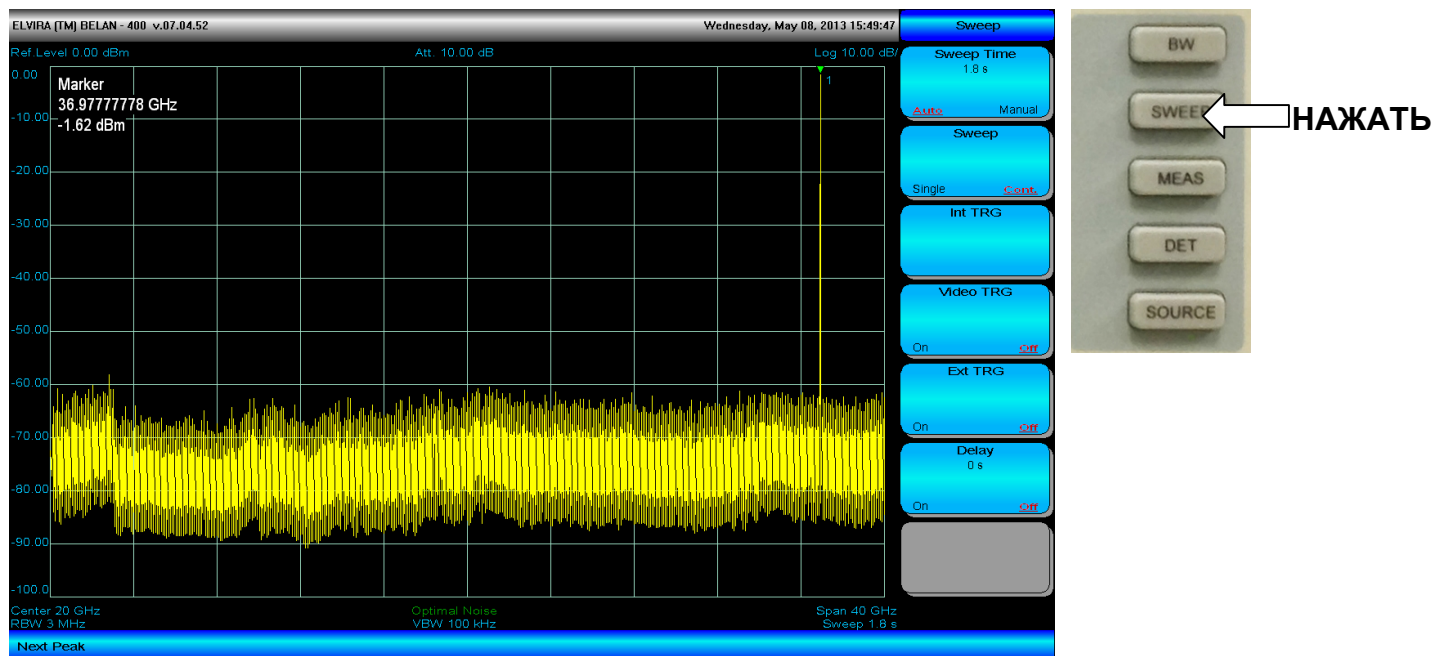
Наложение измеренных графиков обыкновенно используется для сравнительного анализа: например, для оценки зависимости какой-либо характеристики объекта измерения от частоты (или мощности). Таким образом, можно оценить, например, рост фазовых шумов генератора с увеличением частоты генерации. На рисунке 44 показаны фазовые шумы измерительного генератора в полосе 25 кГц на частотах 1 ГГц (желтый график), 10 ГГц (зеленый график), 20 ГГц (голубой график) и 40 ГГц (красный график) при помощи наложения четырех измерительных трасс.

В качестве другого примера можно привести оценку чувствительности приемного тракта в зависимости от входной частоты. На рисунке 45 показана чувствительность «СК4-БЕЛАН 400М» на частотах 1 ГГц (желтый график), 10 ГГц (зеленый график), 20 ГГц (голубой график) и 40 ГГц (красный график) в полосе 100 кГц при подаче на вход прибора сигнала с калиброванным уровнем -100 дБм. Из рисунка 45 видно, что чувствительность прибора на всех частотах составляет величину порядка -150 дБм/Гц (учитывая, что все измерения проведены при полосе пропускания 1 кГц).

2.22. Управление разверткой

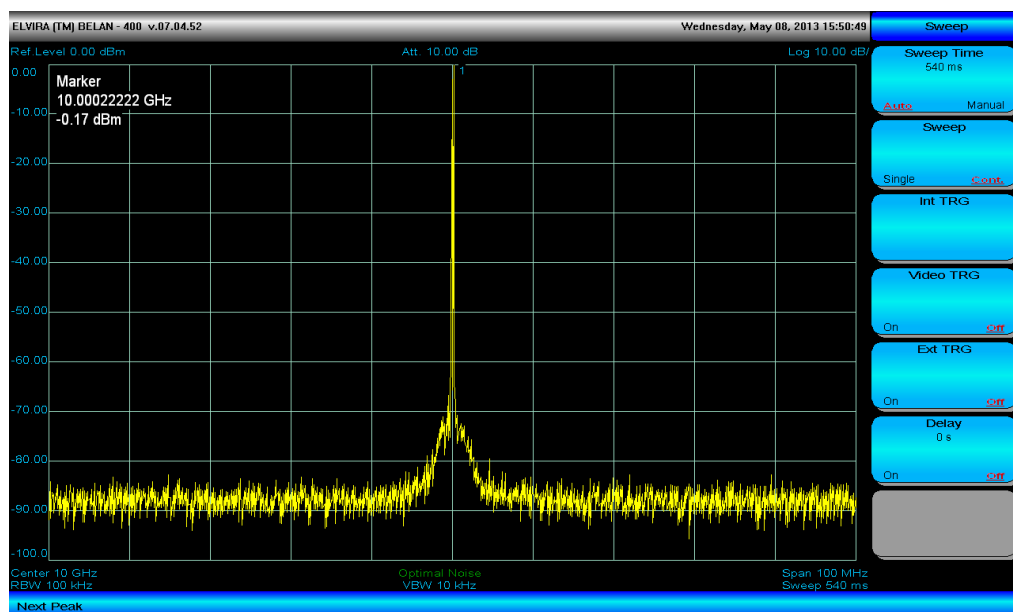
Доступ к управлению разверткой осуществляется при нажатии кнопки **SWEEP** в секции функциональных клавиш передней панели. Программные клавиши, связанные с кнопкой **SWEEP**, показаны на рисунке 46.

Рис. 46. Программные клавиши, связанные с кнопкой SWEEP



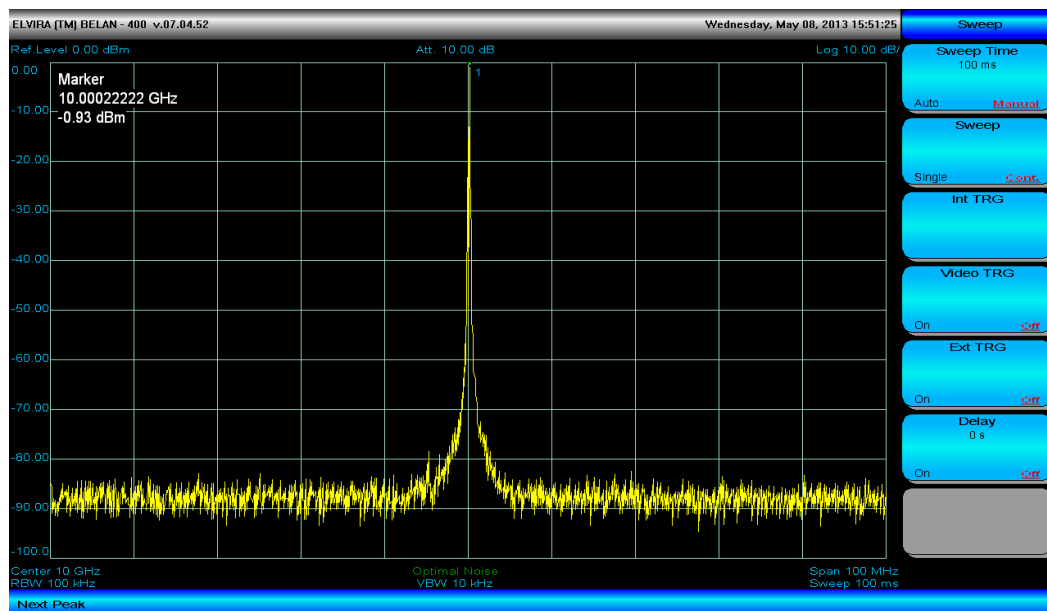
Время развертки, которое используется в анализаторе спектра для заданных полос обзора и пропускания, отображается в программной клавише **Sweep Time**, а также в правом нижнем углу экрана. По умолчанию время развертки устанавливается автоматически в привязке к полосе обзора, ФПЧ и значению видео фильтра (режим программной клавиши **Sweep Time** находится в положении **Auto**). Однако пользователь может по своему усмотрению изменять время развертки вручную в некоторых пределах (в этом случае режим программной клавиши будет изменен на **Manual**).

Рис. 47. Отображение сигнала с частотой 10 ГГц при автоматическом времени развертки



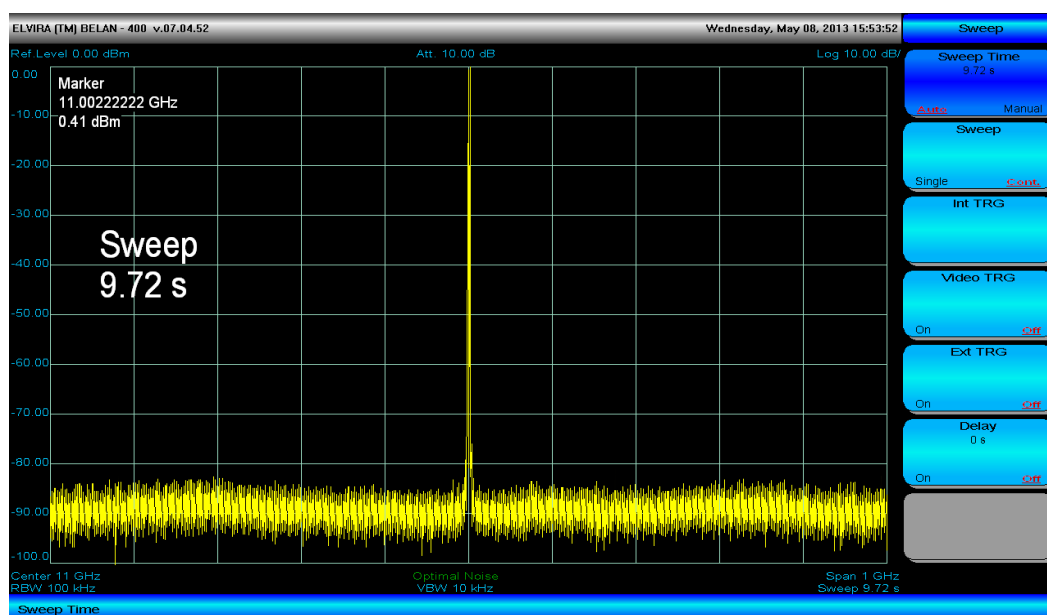
Если время развертки уменьшается вручную оператором, скорость сканирования возрастает, но при этом могут появляться динамические искажения. Эти искажения могут проявляться как уменьшение уровня сигнала в сравнительно широкой полосе обзора или как расширение колоколообразной АЧХ цифрового фильтра в более узкой полосе сканирования.

Рис. 48. Отображение сигнала с частотой 10 ГГц при уменьшении времени развертки в ~5 раз



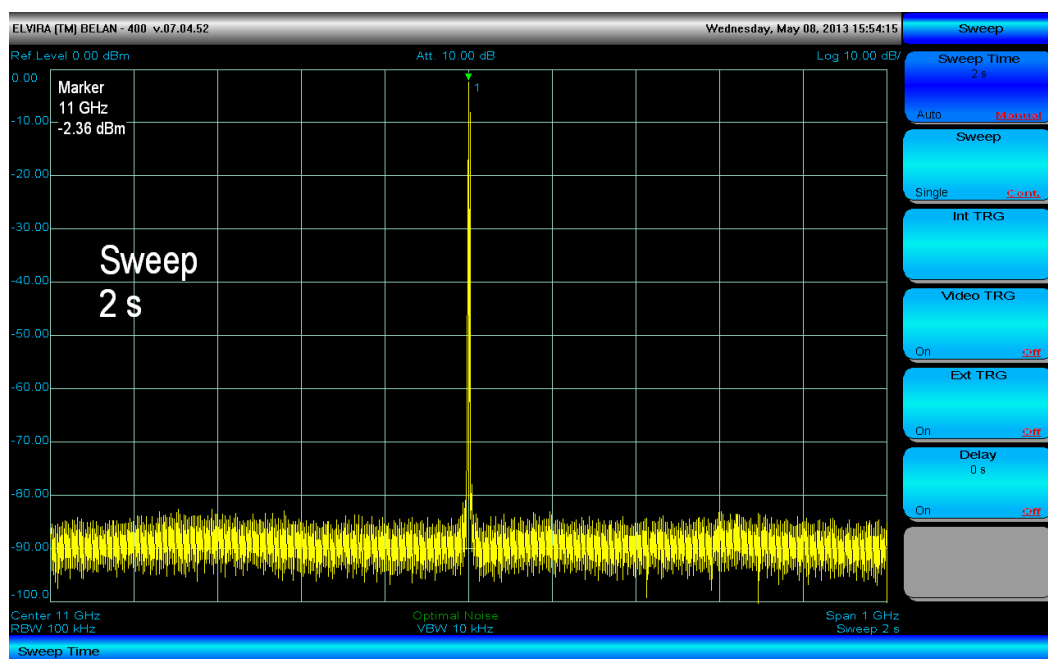
В некоторых случаях искажения, проявляющиеся при уменьшении времени развертки, могут оказаться приемлемыми, в некоторых – нет. Пользователь, в зависимости от требований конкретной измерительной задачи, должен самостоятельно решить, можно ли пожертвовать точностью в пользу увеличения скорости. Приемлемый уровень искажений следует определять экспериментально для конкретных настроек полосы обзора и ФПЧ. На рисунках 47-48 приведен пример увеличения скорости развертки примерно в 5 раз без серьезного ущерба точности измерения (уровень отображаемого сигнала снижается на величину 0.76 дБ, что для многих задач допустимо, при этом заметно лишь незначительное расширение АЧХ фильтра).

Рис. 49. Отображение сигнала с частотой 11 ГГц при автоматическом времени развертки



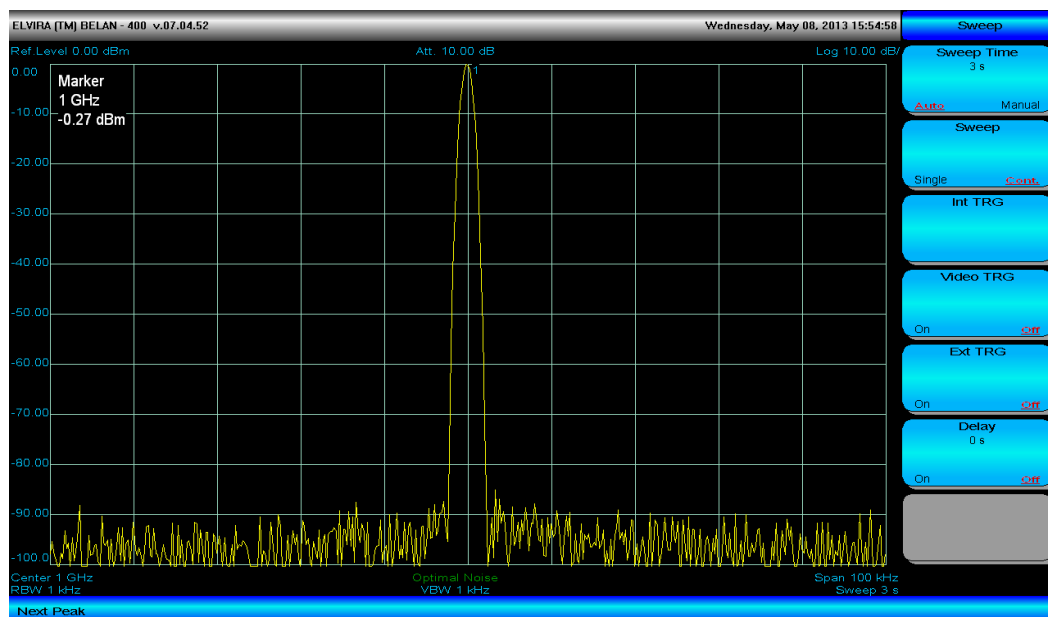
Другой пример, продемонстрированный на рисунках 49-50, показывает, что при других настройках полосы обзора и ФПЧ то же самое увеличение скорости сканирования в 5 раз вызывает ошибку в измерении уровня сигнала уже в 3 дБ, которая для большинства приложений будет считаться существенной.

Рис. 50. Отображение сигнала с частотой 11 ГГц при уменьшении времени развертки в ~5 раз



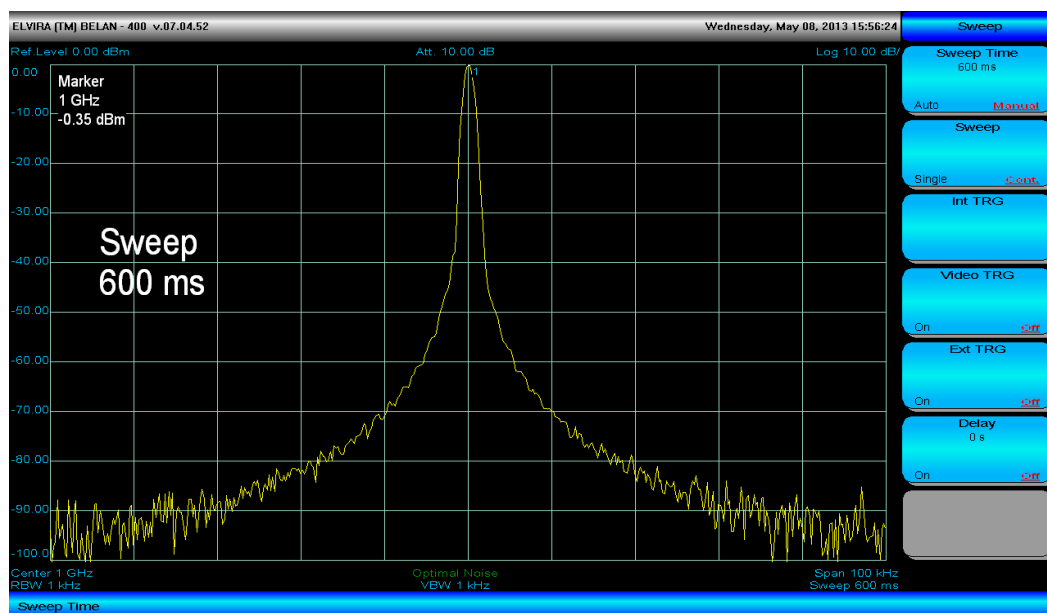
Чем уже становится полоса обзора, тем более явно заметно расширение АЧХ цифрового фильтра при попытке уменьшить время развертки относительно величины, устанавливаемой по умолчанию. Этот эффект проиллюстрирован на рисунках 51-52 для полосы обзора 100 кГц и ФПЧ 1 кГц. Здесь увеличение скорости сканирования в 5 раз влечет за собой серьезное искажение формы фильтра. Следует сказать, что это относится только к цифровым фильтрам разверточного типа. В режиме БПФ время развертки – это время, которое требуется анализатору спектра для расчета необходимого количества кадров БПФ. Оно не может быть изменено в ручном режиме.

Рис. 51. Отображение сигнала с частотой 1 ГГц в полосе обзора 100 кГц при автоматическом времени развертки



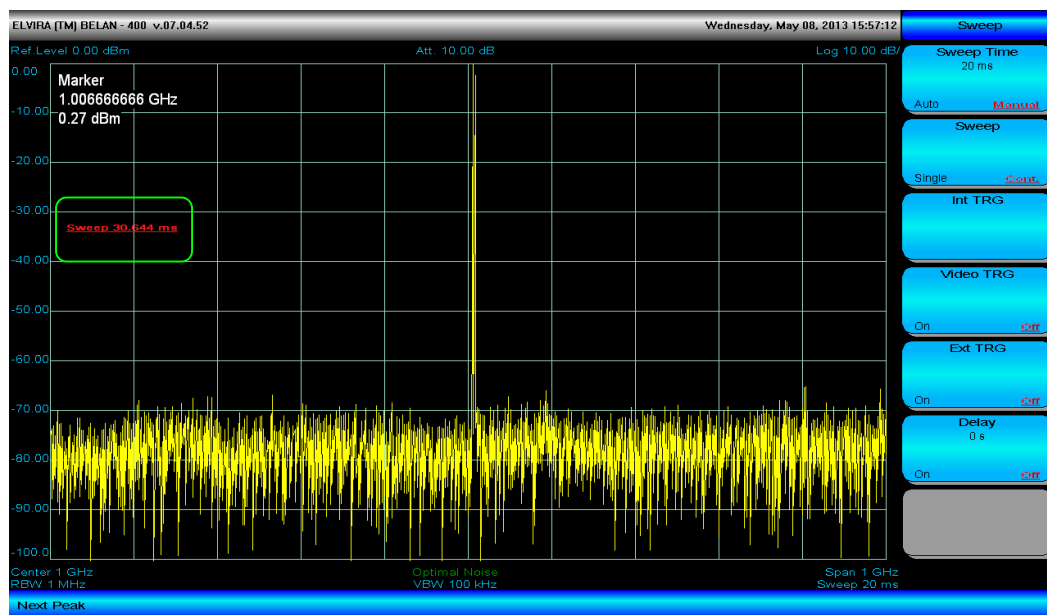
В некоторых случаях (когда пользователь пытается увеличить скорость сканирования) ограничения будут наступать не со стороны цифрового фильтра, которому для корректного отображения сигнала требуется определенное время накопления, а со стороны управляющего цифрового сигнального процессора (ЦСП), который контролирует все аппаратные средства прибора (ЖИГ-фильтр, первый синтезированный гетеродин и т.д.).

Рис. 52. Отображение сигнала с частотой 1 ГГц в полосе обзора 100 кГц при уменьшении времени развертки в ~5 раз



Если ограничение времени сканирования диктует ЦСП, на экране прибора отображается красное сообщение об ошибке с указанием минимального времени развертки, при котором может осуществляться управление аппаратными средствами анализатора (см. рисунок 53). Фактическое время развертки никогда не может быть меньше величины, указанной в подобном сообщении.

Рис. 53. Пример сообщения об ошибке времени сканирования в случае, когда ограничение наступает со стороны управляющего цифрового сигнального процессора



По умолчанию развертка осуществляется в анализаторе спектра непрерывно. Однако пользователь может при необходимости выполнять также одиночные развертки. Для переключения между непрерывным и одиночным режимами развертки следует нажимать программную клавишу **Sweep**, где соответствующим образом будет изменяться режим параметра (**Single** или **Cont**). В режиме единичной развертки каждая следующая развертка выполняется при нажатии на программную клавишу **Int TRG**.

В анализаторах спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» предусмотрено несколько возможностей запуска развертки. Программная клавиша **Int TRG** позволяет запустить одиночную развертку, используя в качестве сигнала управления команду от внутреннего ЦСП прибора.

Программная клавиша **Video TRG** позволяет запустить развертку при превышении заданного порогового уровня в пределах установленной полосы обзора (пороговый уровень задается клавишами пошаговых операций **Up** и **Down** и отображается на экране как белая пунктирная линия).

Программная клавиша **Ext TRG** запускает развертку прибора от сигнала синхронизации TTL-уровня, который приходит от внешнего устройства на разъем **TRIG IN** на задней панели анализатора спектра.

Программная клавиша **Delay** позволяет ввести произвольное значение задержки на выполнении развертки по внешнему сигналу синхронизации. Введенное и используемое в данный момент значение задержки отображается в программной клавише. По умолчанию оно составляет 0 с.

2.23. Автоматические измерения

Анализаторы спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» имеют широкий набор встроенных автоматических измерений (доступных в базовом исполнении и опциональных). Доступ к автоматическим измерениям осуществляется при помощи кнопки **MEAS** в секции функциональных клавиш на передней панели прибора. Автоматические измерения делятся на две группы: связанные с частотой (программная клавиша **Frequency**) и связанные с амплитудой (программная клавиша **Power**) – как показано на рисунке 54.

Рис. 54. Выбор между двумя группами автоматических измерений

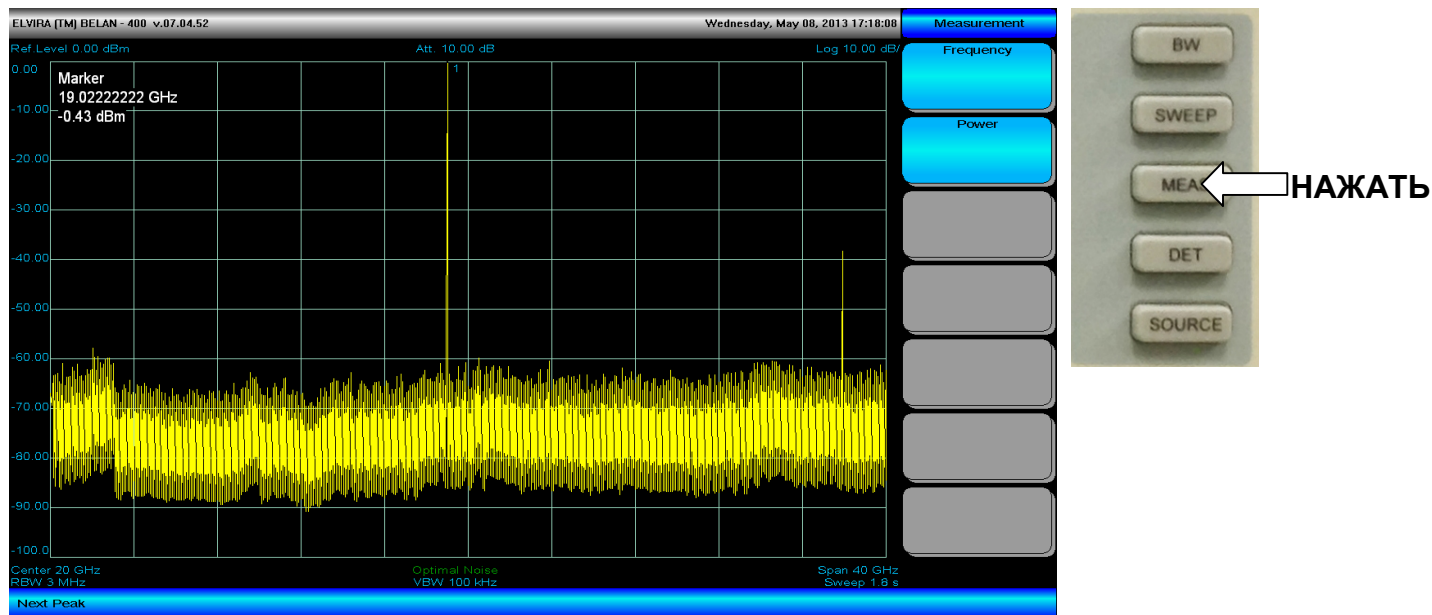
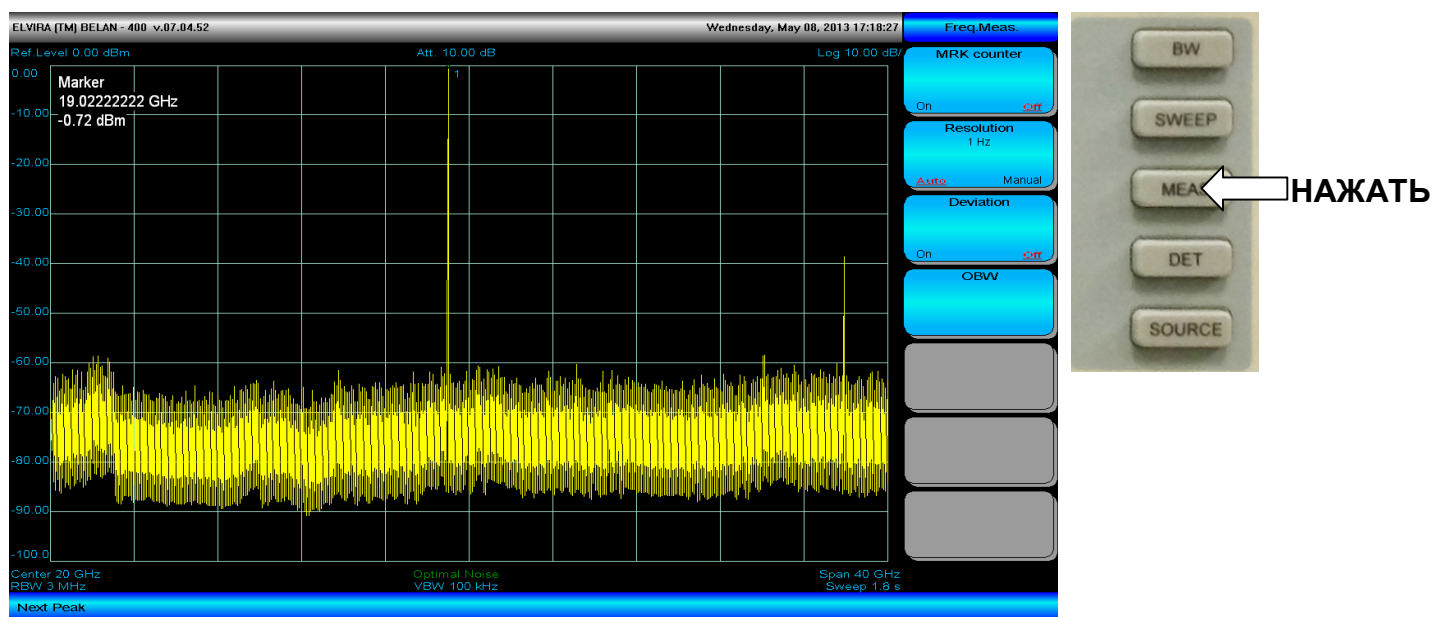


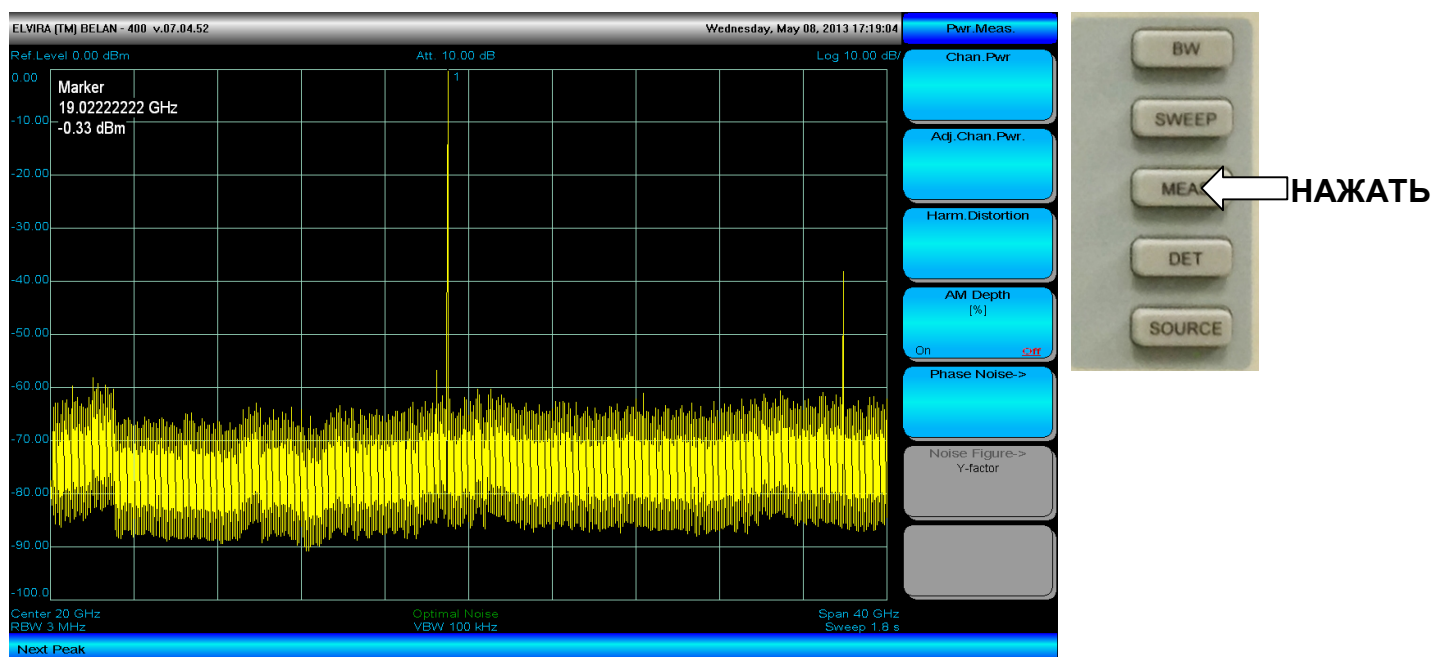
Рис. 55. Программные клавиши, отвечающие за частотные автоматические измерения



На рисунке 55 показаны программные клавиши, которые позволяют выполнять автоматические измерения, связанные с частотой. Программная клавиша **MRK Counter** включает и выключает режим счетчика частоты. Программная клавиша **Resolution** позволяет задать разрешение счетчика. Программная клавиша **Deviation** активирует режим измерения девиации ЧМ сигнала. Программная клавиша **OBW** обеспечивает доступ в

меню автоматического измерения ширины полосы, занимаемой сигналами. Каждое из этих измерений будет детально рассмотрено ниже.

Рис. 56. Программные клавиши, отвечающие за амплитудные автоматические измерения



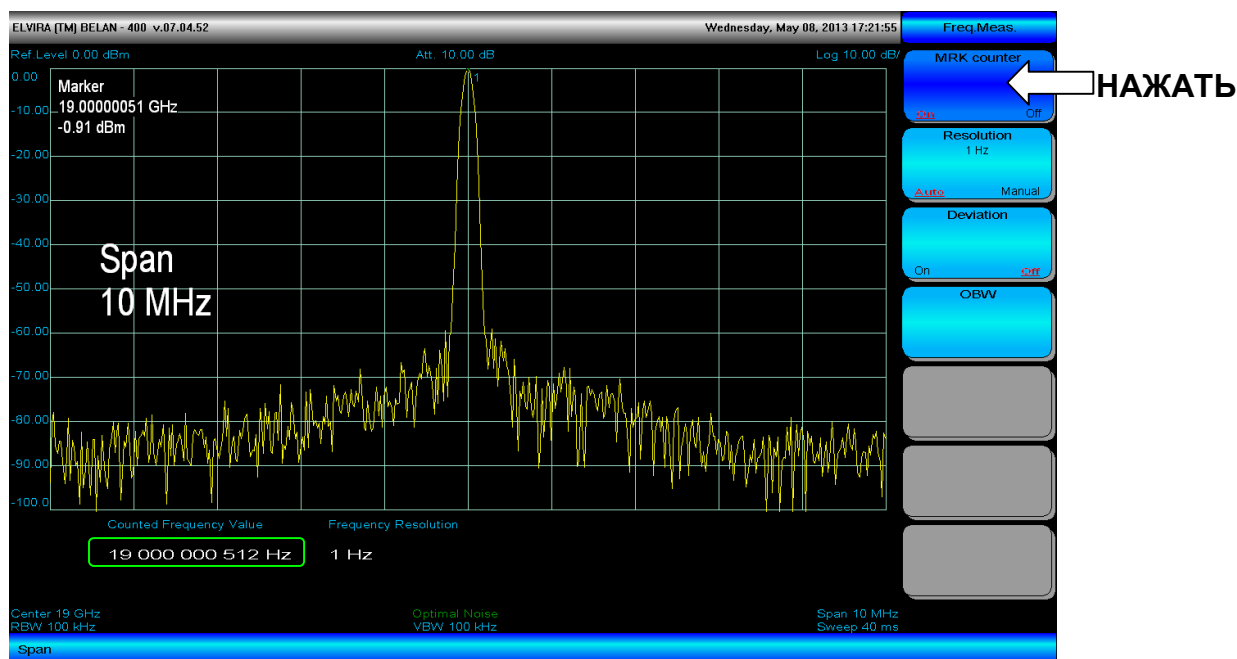
На рисунке 56 показаны программные клавиши, которые позволяют осуществлять автоматические измерения, связанные с амплитудой сигнала. Программная клавиша **Chan.Pwr** обеспечивает доступ в меню измерения мощности канале. Программная клавиша **Adj.Chan.Pwr** открывает меню измерения мощности в соседнем канале. Эти два типа измерений (мощности в канале и в соседнем канале) являются базовыми для любого телекоммуникационного стандарта. Программная клавиша **Harm.Distortion** открывает меню автоматического измерения гармонических искажений. Программная клавиша **AM depth** включает и выключает измерение глубины АМ амплитудно-модулированного сигнала. Программная клавиша **Intermod(TOI)** включает и выключает измерение интермодуляционных искажений. Каждое из этих измерений детально рассматривается ниже.

В группу автоматических измерений, связанных с амплитудой, также входят два опциональных программных пакета: для измерения фазовых шумов (данное программное обеспечение добавляется в прибор опцией 003) и для измерения коэффициента шума (данное программное обеспечение добавляется в прибор опцией 006 и требует наличия аппаратной опции 005 или 05х), а также внешнего генератора шума.

2.24. Измерение частоты в режиме счетчика

Измерение частоты в режиме счетчика – это первое автоматическое измерение в меню частотных измерений. Процедура выполнения измерения следующая. Настройтесь на несущую частоту (нажать кнопку **SEARCH**, затем кнопку **MRK**→ и затем программную клавишу **MRK**→**CF**). Установите полосу обзора ≤100 МГц, ФПЧ и видео фильтр – по умолчанию. Установите требуемое значение разрешения счетчика при помощи программной клавиши **Resolution** (1 Гц, 10 Гц, 100 Гц или 1 кГц). Запустите измерение нажатием на программную клавишу **MRK counter**. Режим параметра клавиши должен измениться с **Off** на **On**. Измеренное счетчиком значение частоты будет отображено под масштабной сеткой внизу экрана (см. рисунок 57).

Рис. 57. Измерение частоты в режиме счетчика



В режиме измерения частоты, скорость сканирования будет снижена в соответствии с временем счета, необходимым для обеспечения нужного разрешения.

Погрешность измерения частоты в режиме счетчика определяется по формуле:

$$\Delta F = \pm(F_{\text{MEAS}} \times \text{REF}_{\text{ACCURACY}} + 2 \text{ Гц} + \text{LSD}), \text{ где} \quad (2.24.1)$$

F_{MEAS} – измеренное значение частоты

$\text{REF}_{\text{ACCURACY}}$ – погрешность опорного источника (включает точность начальной установки, кратковременную стабильность частоты и старение с учетом времени, прошедшего с момента последней калибровки)

LSD – единица младшего разряда

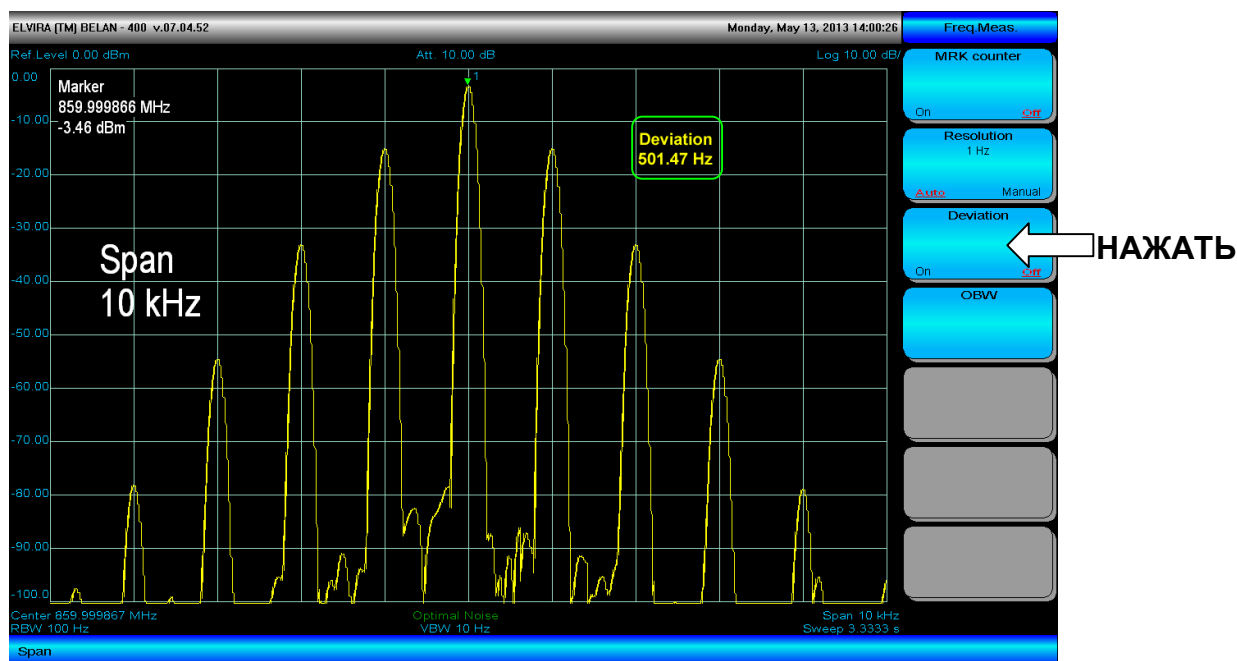
Внимание:

Точность измерения частоты зависит от амплитуды измеряемого сигнала и соотношения сигнал-шум. Уровень сигнала должен быть ≥ -70 дБм, а соотношение сигнал-шум ≥ 30 дБ. Если соотношение сигнал-шум составляет < 30 дБ (при этом уровень сигнала ≥ -70 дБм), его следует увеличить путем снижения опорного уровня, уменьшения ослабления входного аттенюатора или сужения полосы пропускания.

2.25. Измерение девиации

Для измерения девиации ЧМ сигнала следует выполнить следующие действия. Нажать кнопку **PRESET**, установить сигнал в центр полосы обзора (нажав кнопки **SEARCH**, **MRK->** и затем программную клавишу **MRK->CF**). Следует установить такое значение полосы обзора, чтобы боковые полосы модуляции были четко различимы. Далее нужно определить частоту модуляции, измерив дельта-маркером частотный разнос между несущей и ближайшей боковой полосой. После этого следует скорректировать значение полосы обзора таким образом, чтобы оно было в 10 раз больше частоты модуляции, и убедиться, что боковые полосы лежат ровно на вертикальных линиях масштабной сетки (при необходимости следует еще раз настроить несущую частоту точно на центр экрана). Включить измерение девиации при помощи программной клавиши **Deviation**. Значение девиации будет отображено желтым текстом в правом верхнем углу масштабной сетки.

Рис. 58. Измерение девиации 500 Гц на ЧМ сигнале 860 МГц, модулированном с частотой 1 кГц



Анализаторы спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» позволяют в автоматическом режиме производить измерения девиации ЧМ сигнала для модулирующих частот от 100 Гц до 100 кГц и индексов модуляции от 100 до 0.01.

На рисунке 58 показан пример измерения девиации в 500 Гц на ЧМ сигнале 860 МГц, модулированном с частотой 1 кГц.

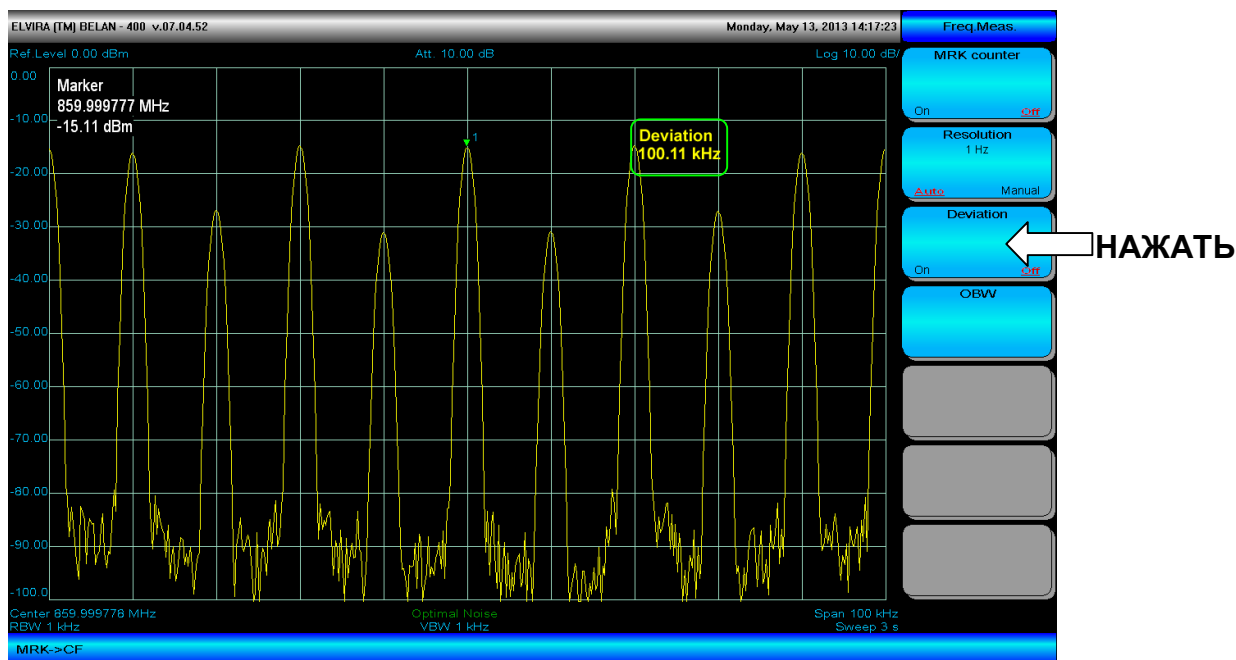
На рисунке 59 показан пример измерения девиации в 100 кГц на ЧМ сигнале 860 МГц, модулированном с частотой 10 кГц.

При измерении ЧМ девиации всегда следует обращать внимание на правильное значение полосы обзора.

ВАЖНО ЗАПОМНИТЬ:

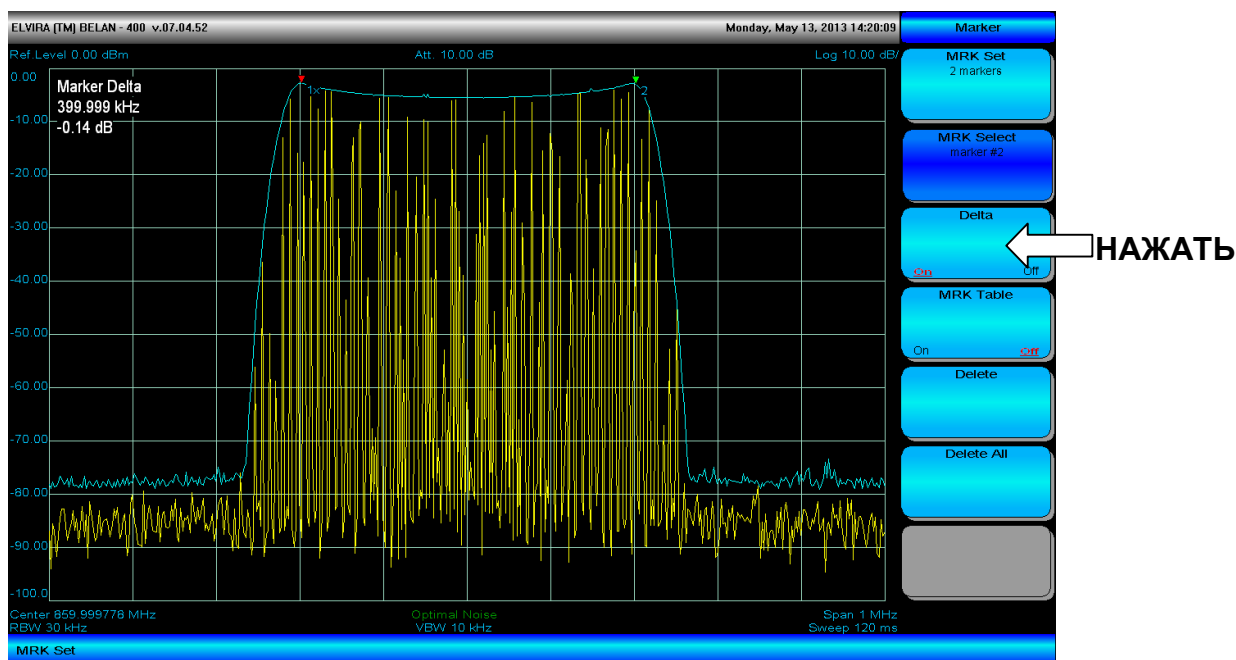
Для правильного измерения девиации ЧМ сигнала следует установить несущую частоту точно в центр полосы обзора. При этом полоса обзора должна быть ровно в 10 раз больше частоты модуляции. Настройки прибора, отличающиеся от указанных, могут привести к ошибочным результатам.

Рис. 59. Измерение девиации 100 кГц на ЧМ сигнале 860 МГц, модулированном с частотой 10 кГц



Если индекс модуляции превышает 100, измерение ЧМ девиации можно осуществить в ручном режиме при помощи дельта-маркера следующим образом. Установить полосу обзора в 4-5 больше, чем ожидаемое значение девиации, установить полосу пропускания в несколько раз уже, чем значение фильтра, используемого по умолчанию. Измерить расстояние по частоте между пиками девиации при помощи дельта-маркера и разделить полученную величину пополам. На рисунке 60 проиллюстрировано измерение девиации 200 кГц на ЧМ сигнале 860 МГц, модулированном с частотой 1 кГц (индекс модуляции равен 200). Как показано на рисунке 60, для более четкой визуализации пиков девиации можно использовать функцию **Max Hold** в меню программных клавиш соответствующего графика.

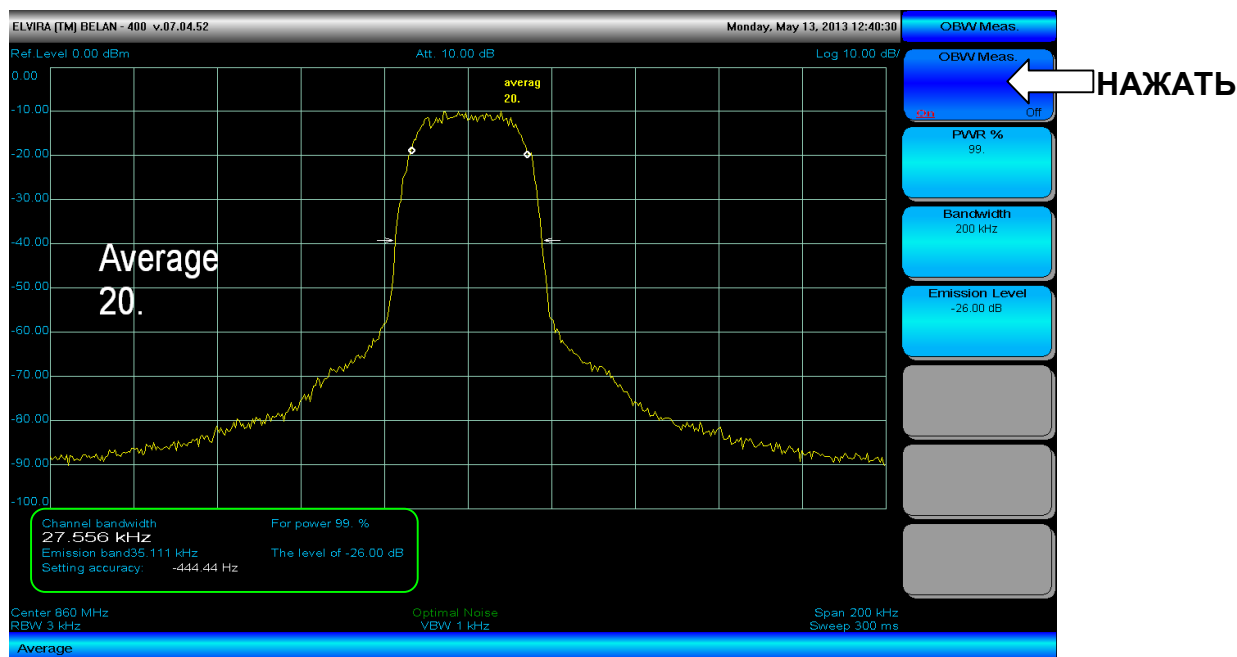
Рис. 60. Измерение девиации 200 kHz на ЧМ сигнале при индексе модуляции >100 с использованием дельта-маркера



2.26. Измерение ширины полосы, занимаемой сигналом

Полоса, занимаемая сигналом, это один из важнейших параметров для телекоммуникационного сигнала. Наряду с мощностью в канале, полоса, занимаемая сигналом, позволяет оценить уровень помех, который данный передатчик создает для соседних РЧ устройств. Доступ в меню измерения ширины полосы, занимаемой сигналом, осуществляется при помощи программной клавиши **OBW** в меню автоматических частотных измерений.

Рис. 61. Измерение ширины полосы, занимаемой сигналом



Для измерения полосы, занимаемой сигналом, необходимо выполнить следующие действия. Анализатор настроить на несущую частоту (нажать кнопки **SEARCH**, **MRK->** и затем программную клавишу **MRK->CF**). При помощи программной клавиши **Bandwidth** установить полосу обзора в 3-5 раз шире, чем визуальная частотная полоса сигнала (либо руководствуясь требованиями конкретного телекоммуникационного стандарта). Установить значение полосы пропускания, исходя из соотношения полосы обзора к ФПЧ 100:1 (или исходя из требований связного стандарта). Нажать программную клавишу **OBW Meas** для запуска измерения. Режим параметра программной клавиши изменится на ON, а значение полосы частот, занимаемой сигналом, отобразится в левом нижнем углу экрана (как показано на рисунке 61).

В процессе измерения анализатор спектра сначала рассчитывает общую интегральную мощность в полосе частот, предварительно заданной при помощи программной клавиши **Bandwidth**, а затем определяет полосу, в которой сосредоточен требуемый процент от общей интегральной мощности (99% в примере на рисунке 61). Процент мощности, по которому будет определяться ширина полосы частот, занимаемой сигналом, задается при помощи программной клавиши **PWR%** путем ввода соответствующего значения с клавиатуры. Анализатор также позволяет определить точность настройки передатчика (исходя из симметрии распределения мощности относительно центральной частоты канала), а также полосу излучения на заданном уровне ниже максимума сигнала. Полоса излучения на заданном уровне ниже максимума сигнала определяется в соответствии с требованиями конкретного связного стандарта. Уровень относительно максимума (в примере на рисунке 61 он равен -26 дБ) задается при помощи программной клавиши **Emission Level**.

2.27. Измерение мощности в канале

Доступ в меню автоматического измерения мощности в канале осуществляется при помощи программной клавиши **Chan.Pwr** в меню автоматических измерений мощности. Программные клавиши меню измерения мощности в канале показаны на рисунке 62.

Рис. 62. Измерение мощности в канале

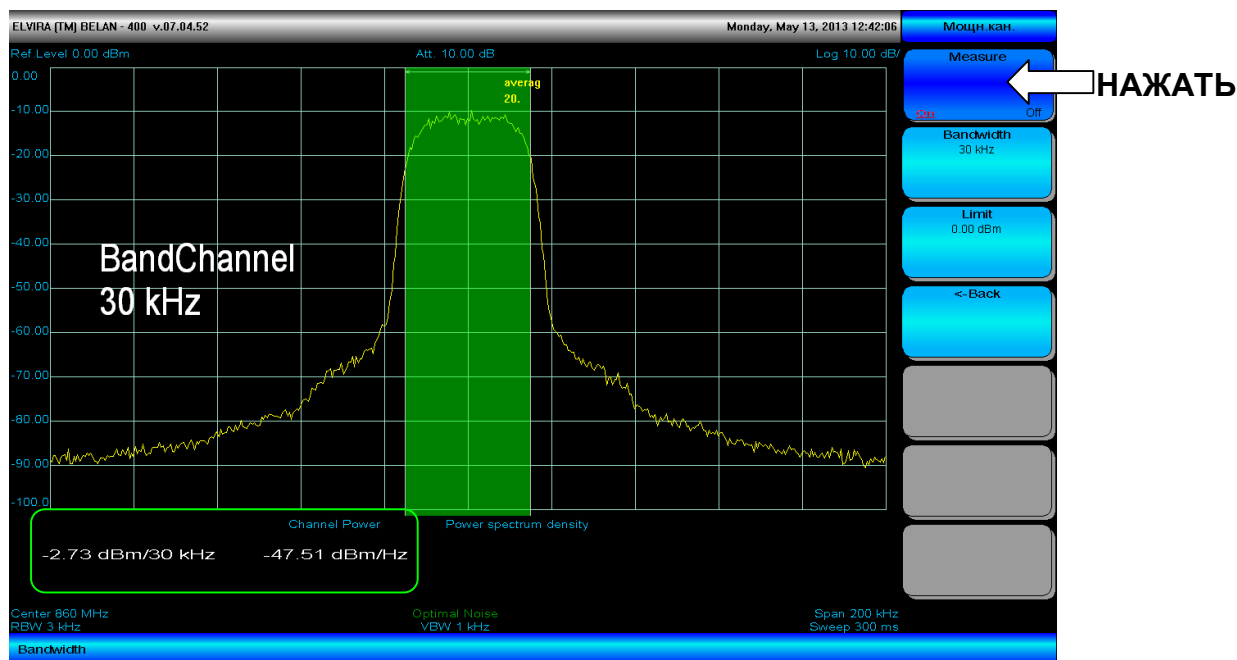
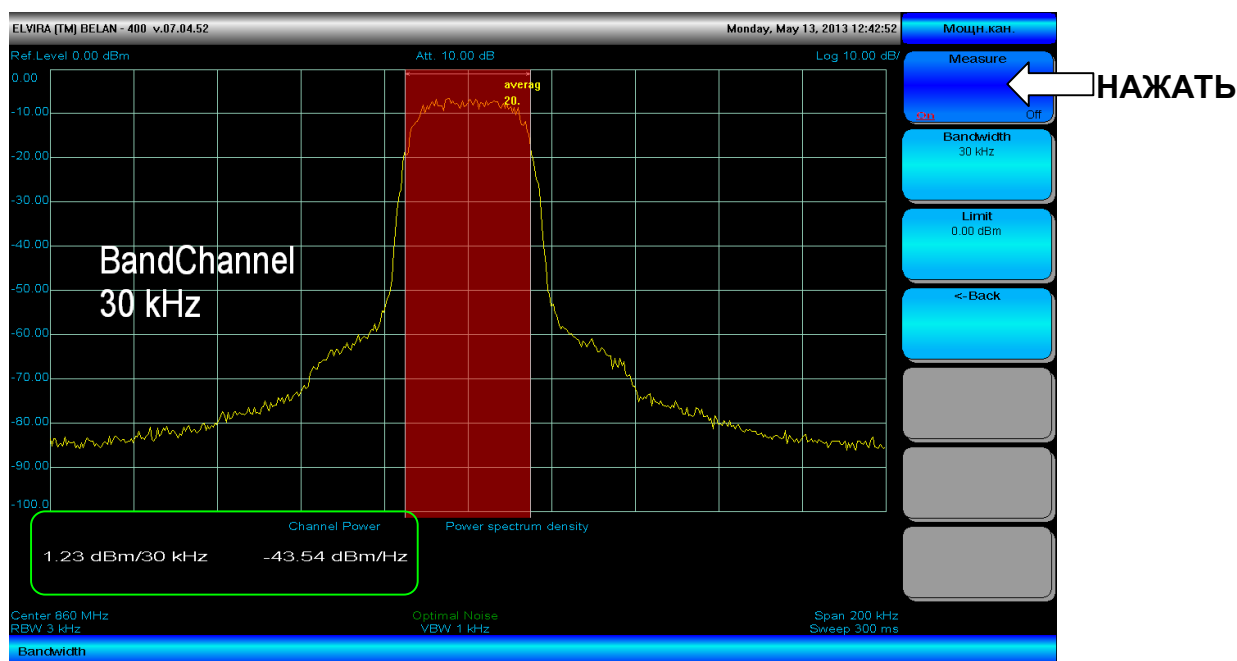


Рис. 63. Измерение мощности в канале с превышением порогового значения допустимой мощности



Автоматическое измерение мощности в канале является одним из ключевых во многих связанных приложениях. Это измерение позволяет рассчитать интегральное значение мощности в полосе частот,

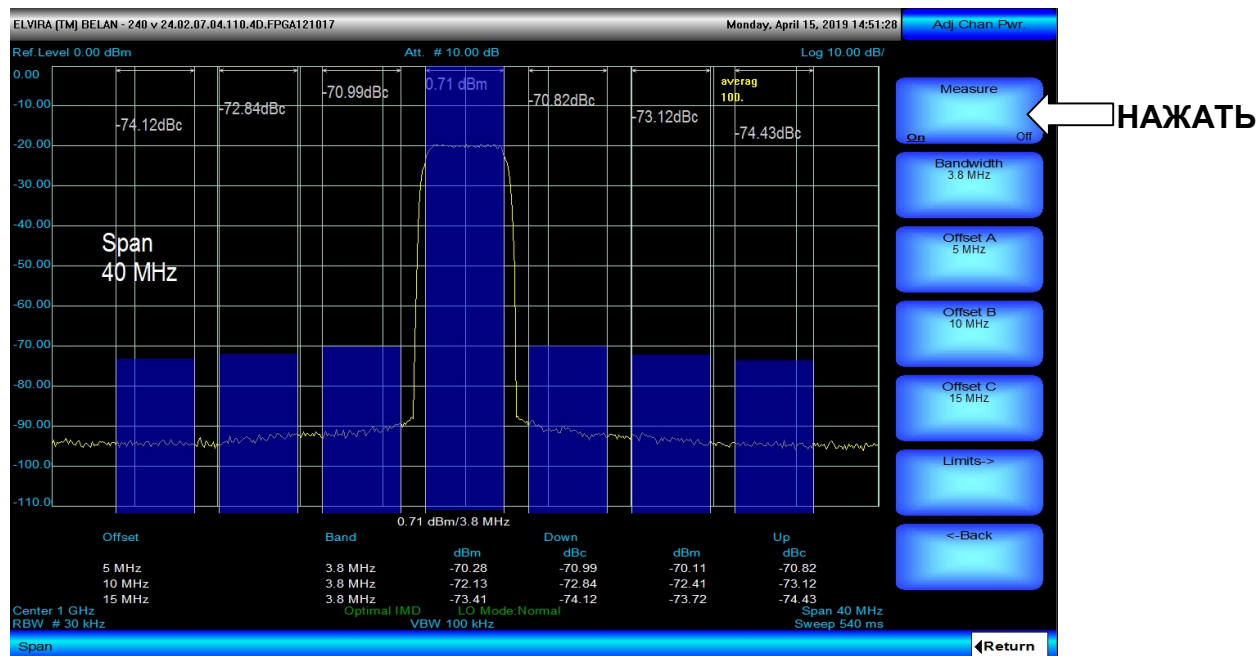
занимаемой телекоммуникационным сигналом, а также спектральную плотность мощности в канале, приведенную в полосу 1 Гц. Программная клавиша **Bandwidth** в данном меню используется для определения полосы канала в соответствии с требованиями конкретного связного стандарта. Текущее значение полосы канала будет отображено в данной программной клавише в качестве используемого параметра. Кроме того, границы канала будут обозначены на масштабной сетке двумя вертикальными линиями. Программная клавиша **Limit** используется для ввода порогового уровня, который не должна превышать мощность выходного сигнала передатчика. Если интегральная мощность в канале меньше заданного порогового уровня, то прямоугольник, образованный частотными границами канала и верхней и нижней линиями масштабной сетки будет окрашен в зеленый цвет (см. рисунок 62). Если же интегральная мощность в канале оказывается выше порогового значения, то прямоугольник окрашивается в красный цвет (см. рисунок 63). Подобная цветовая градация упрощает допусковый контроль при настройке РЧ передатчиков. Программная клавиша **<-Back** возвращает пользователя в основное меню автоматических измерений мощности.

Для измерения мощности в канале необходимо выполнить следующие действия. Настроить анализатор на несущую частоту сигнала. Установить полосу обзора и полосу пропускания в соответствии с требованиями конкретного связного стандарта. Убедиться, что измеряемый сигнал не перегружает входных каскадов прибора (на экране отсутствует предупредительное сообщение **Overflow**). При необходимости установить требуемое количество усреднений и пороговое значение мощности. Запустить измерение нажатием на клавишу **Measure**. Измеренное значение мощности в канале и спектральной плотности мощности будет отображено внизу экрана (как показано на рисунках 62-63).

2.28. Измерение мощности в соседнем канале

Доступ в меню автоматического измерения мощности в соседнем канале осуществляется при помощи программной клавиши **Adj.Chan.Pwr** в меню автоматических измерений мощности. Программные клавиши меню автоматического измерения мощности в соседнем канале показаны на рисунке 64.

Рис. 64. Меню измерения мощности в соседнем канале



Измерение мощности в соседнем канале также является одним из базовых тестов для передатчиков в большинстве связанных стандартов. Эта функция позволяет рассчитать интегральную мощность в трех соседних каналах, расположенных выше и ниже основного канала по частоте, а также относительный уровень мощности в дБ относительно уровня основного канала. Полоса канала (как основного, так и соседних) задается при помощи программной клавиши **Bandwidth** в соответствии с требованиями конкретного связанного стандарта. Текущее значение полосы канала отображается в данной программной клавише в качестве используемого параметра. Центральные частоты трех нижних и трех верхних соседних каналов задаются при помощи программных клавиш **Offset A**, **Offset B** и **Offset C**. Текущее значение частотной отстройки по отношению к основному каналу отображается в указанных программных клавишах в качестве используемого параметра. Частотные границы основного канала и соседних каналов отображаются на масштабной сетке вертикальными линиями. Интегральная мощность в канале графически отображается закрашиванием прямоугольника, образованного частотными границами канала, а также верхней и нижней линиями масштабной сетки, до отметки, соответствующей определенному уровню вертикальной шкалы (см. рисунок 64).

Программная клавиша **Limits->** (см. рисунок 65) обеспечивает доступ к дополнительному меню, в котором можно редактировать пороговые значения интегральной мощности для всех трех пар (верхнего и нижнего) соседних каналов. Программная клавиша **Limit A** задает порог по мощности в абсолютных единицах для нижнего и верхнего соседнего канала на отстройке A от частоты основного канала. Аналогичным образом программные клавиши **Limit B** и **Limit C** позволяют задать пороговые значения для верхнего и нижнего соседних каналов на отстройках B и C от частоты основного канала. Текущие пороговые значения отображаются в соответствующих программных клавишах в качестве используемого параметра. Программная клавиша **Limits On** активирует режим допускового контроля. Программная клавиша **<-Back** возвращает пользователя в основное меню измерения мощности в соседнем канале. В режиме активированного допускового контроля прибор будет автоматически измерять интегральную мощность в верхних и нижних соседних каналах и окрашивать прямоугольники, соответствующие измеренным уровням мощности в каналах, в зеленый цвет, если значения оказываются ниже порогового уровня, и в красный цвет, если значения превышают заданный порог (см. рисунок 65).

Для автоматического измерения мощности в соседнем канале необходимо выполнить следующие действия. Поскольку данное измерение предъявляет серьезные требования к динамическому диапазону прибора, целесообразно выбрать режим тракта «**Optimal IMD**». Настроить анализатор спектра на центральную частоту основного канала. Убедиться, что измеряемый сигнал не перегружает входные каскады прибора (на экране отсутствует предупредительное сообщение **Overflow**). Установить полосу обзора, полосу пропускания и значения частотных отстроек соседних каналов в соответствии с требованиями конкретного связного стандарта. При необходимости отредактировать пороговые значения мощности для всех соседних каналов и активировать допусковый контроль. Запустить автоматическое измерение мощности в соседнем канале нажатием на программную клавишу **Measure**. Измеренные абсолютные значения мощности в основном и в соседних каналах в дБм, а также измеренные относительные значения мощности соседних каналов в дБ по отношению к уровню основного канала будут выведены внизу экрана (см. рисунок 65).

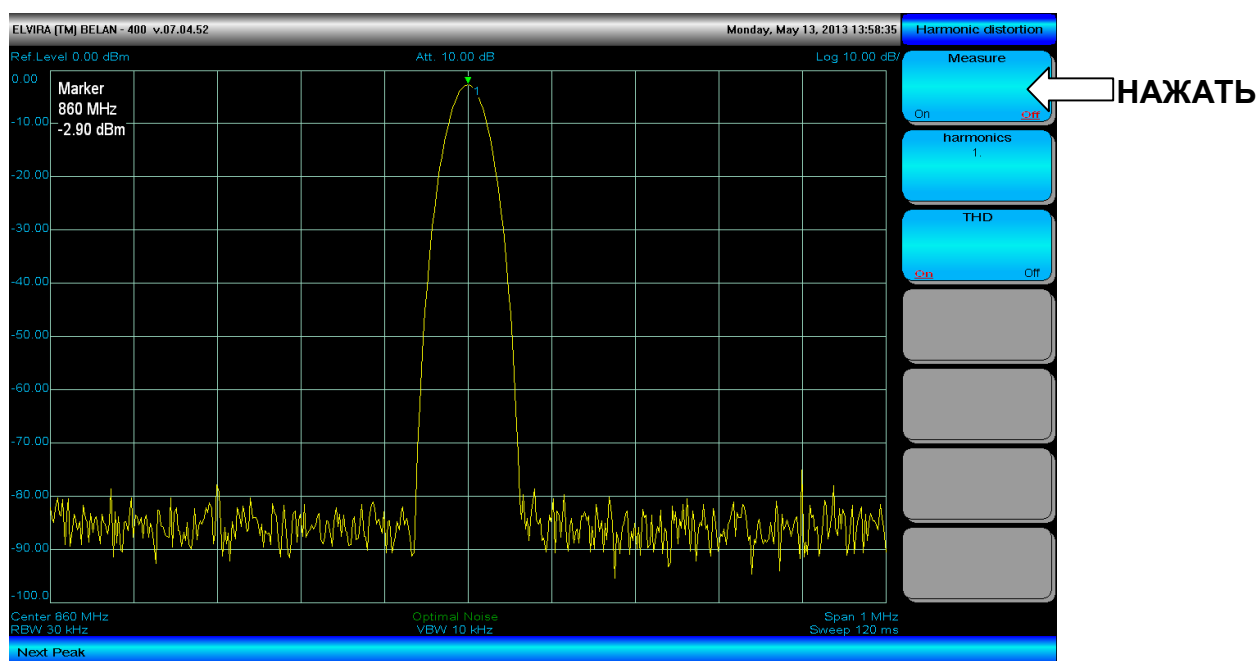
Рис. 65. Дополнительное меню для редактирования пороговых значений мощности в соседних каналах



2.29. Измерение гармонических искажений

Доступ в меню автоматического измерения гармонических искажений осуществляется нажатием программной клавиши **Harm.Distortion** в меню автоматических измерений мощности. Автоматическое измерение гармонических искажений позволяет произвести измерение уровня заданного количества гармоник в дБ относительно основного колебания и вывести результат на экран в виде таблицы. Для выполнения измерения необходимо выполнить следующие действия. Настроить анализатор спектра на частоту основного колебания. Установить полосу обзора, равную 1 МГц, значение полосы пропускания и видео фильтра оставить по умолчанию. Установить значение опорного уровня, равное уровню первой гармоники (также допускается, чтобы уровень первой гармоники был незначительно ниже опорного - см. рисунок 66). При помощи программной клавиши **Harmonics** ввести количество гармоник, уровень которых будет измерен. Введенное количество гармоник будет отображено в данной программной клавише в качестве используемого параметра.

Рис. 66. Меню автоматического измерения гармонических искажений



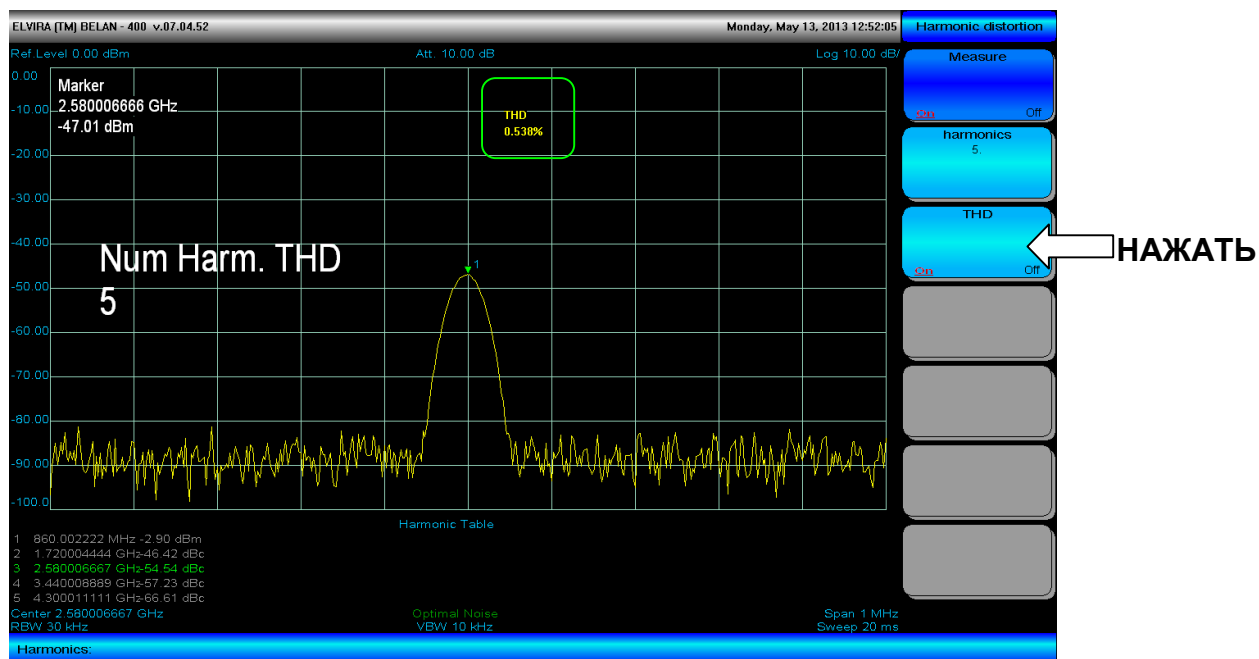
Запустить измерение нажатием программной клавиши **Measure**. Анализатор спектра рассчитает частоты требуемого количества гармоник и затем начнет последовательно настраиваться на них, измеряя уровень в дБ относительно основного колебания. Результат будет отображен в виде таблицы внизу экрана (см. рисунок 67). Частота и уровень гармоники, измеряемой в данный момент времени, выделяются зеленым цветом. После того, как измерена последняя гармоника, процедура возобновляется по кругу, начиная с первой гармоники. Остановить измерение можно повторным нажатием на программную клавишу **Measure**.

Для некоторых приложений необходимо рассчитать коэффициент нелинейных искажений (total harmonic distortion или THD). Для его расчета используется следующая формула:

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_\infty^2}}{V_1} \quad (2.29.1)$$

Если необходимо рассчитать коэффициент нелинейных искажений, следует нажать программную клавишу **THD**. Режим параметра в данной программной клавише изменится на ON, а рассчитанное значение коэффициента нелинейных искажений будет отображено в процентном виде в правой части экрана (см. рисунок 67).

Рис. 67. Измерение гармоник с расчетом коэффициента нелинейных искажений



2.30. Измерение глубины AM

Автоматическое измерение глубины AM амплитудно-модулированного сигнала осуществляется при помощи программной клавиши **AM Depth** в меню автоматических измерений мощности. Глубина AM рассчитывается прибором по формуле:

$$AM (\%) = 2 \times 10^{A/20}, \text{ где} \quad (2.30.1)$$

AM (%) – глубина AM в процентах;

A – измеренный уровень боковой полосы в дБ относительно несущей.

Рис. 68. Измерение глубины AM = 30%

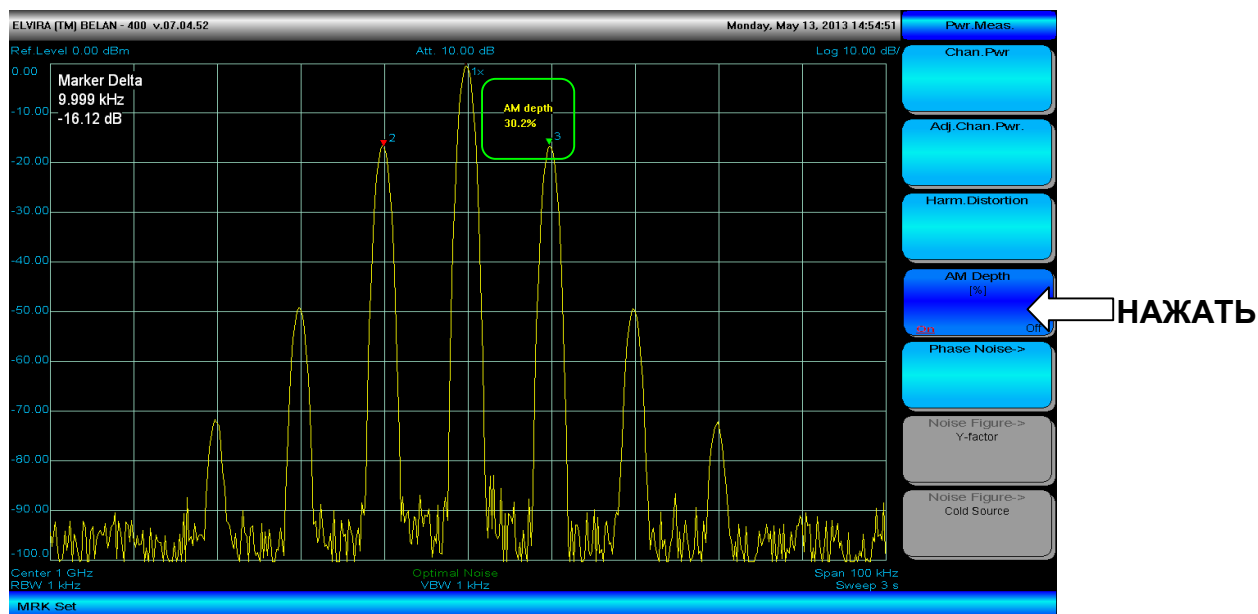
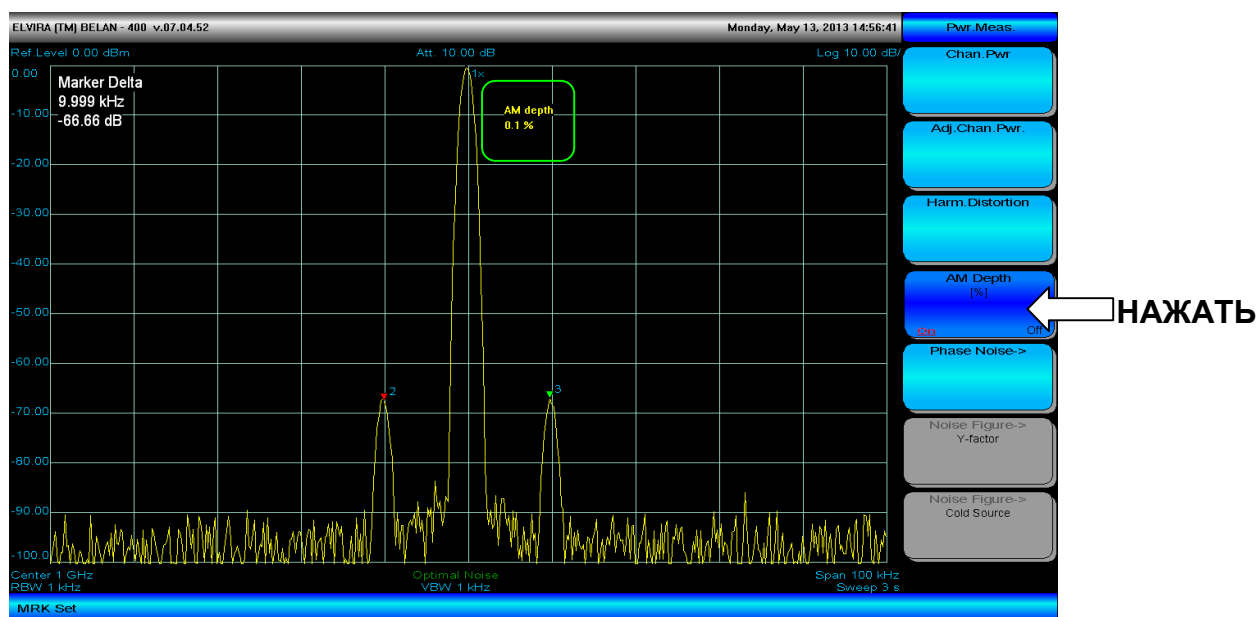
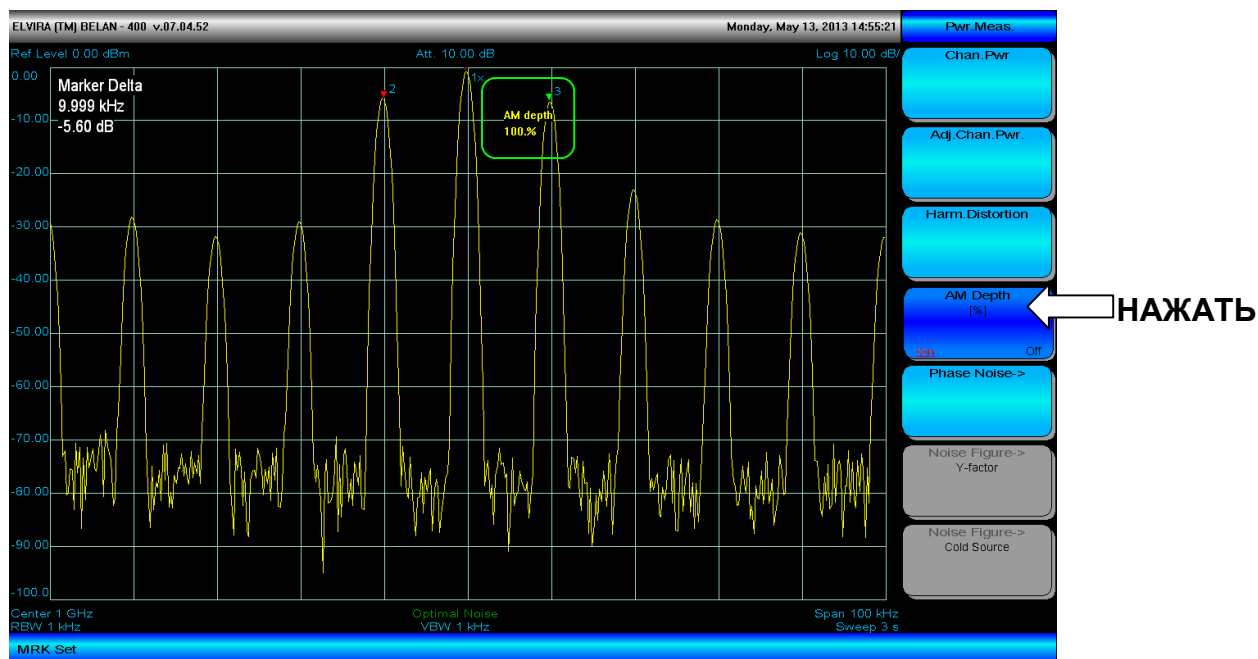


Рис. 69. Измерение глубины AM = 0.1%



Для осуществления правильного измерения следует выполнить следующие действия. Настроить анализатор спектра на несущую частоту. Определить при помощи дельта-маркера частоту модуляции, измерив расстояние между несущей и ближайшей боковой полосой. Установить полосу обзора в 10 раз больше, чем частота модуляции. Значение полосы пропускания оставить по умолчанию. Нажать кнопки **SEARCH**, **MRK->** и затем программную клавишу **MRK->CF**. После этого маркер #1 должен находиться на пике сигнала несущей. Нажать кнопку **MRK**. Активировать маркеры #2 и #3 и разместить их на пики ближайшей нижней и ближайшей верхней боковой полосы соответственно. Включить измерение нажатием программной клавиши **AM depth**. Режим параметра данной клавиши изменится на ON, а измеренное значение глубины AM будет отображено желтым текстом справа от центра экрана (см. рисунок 70).

Рис. 70. Измерение глубины AM = 100%



Анализатор спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» позволяют выполнять измерения глубины AM в диапазоне от 0.1% до 100%, как показано на рисунках 68-70.

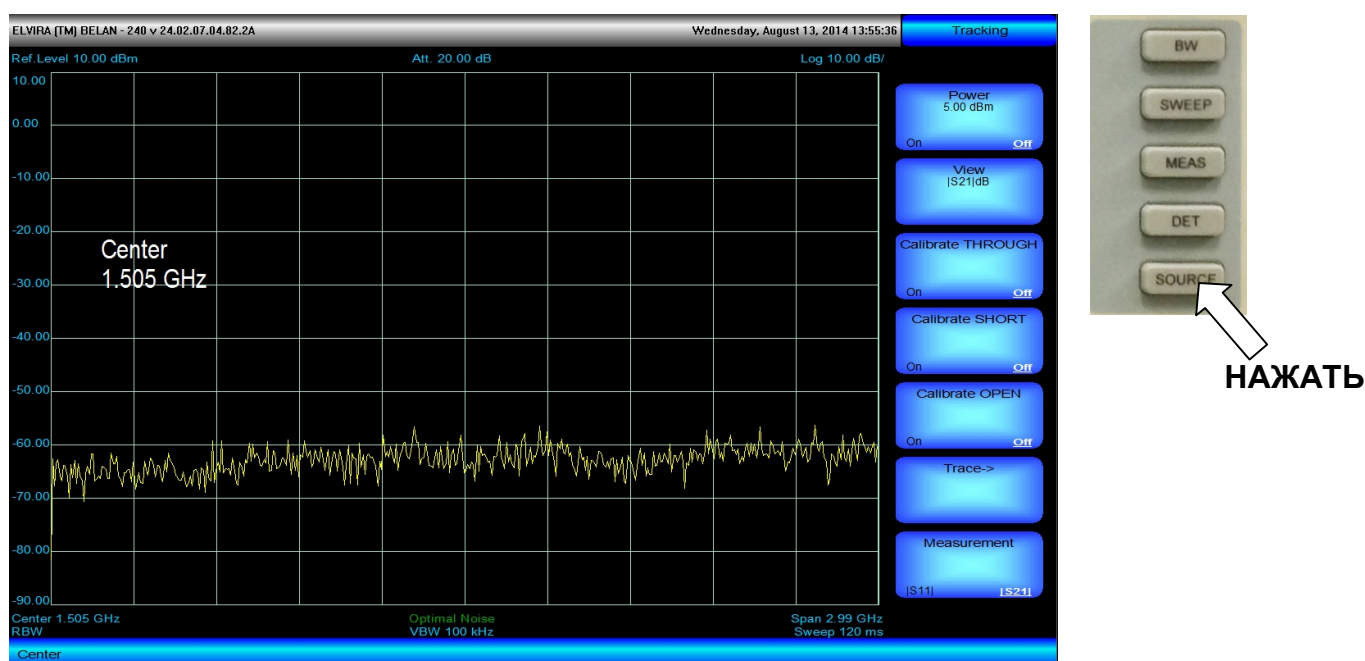
2.31. Измерение модуля коэффициента передачи и отражения при помощи следящего генератора. Общие сведения.

В анализаторах спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» реализовано две опции следящих генераторов (см. раздел 1.3 на странице 5). В качестве синонимов термина «следящий генератор» в дальнейшем также будут использоваться термины «трекинг-генератор» или «генератор качающейся частоты» (сокращенно ГКЧ). Опции трекинг-генераторов, устанавливаемые на анализаторы спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М», различаются аппаратным составом. В состав опции 002 входит только встроенный модуль следящего генератора, который в скалярных измерениях четырехполюсников является источником зондирующего сигнала. Опция 020, кроме модуля следящего генератора, добавляет в анализатор спектра встроенный мост измерения обратных потерь высокой направленности, а также ступенчатый аттенюатор в тракт источника зондирующего сигнала. Таким образом, при помощи «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с опцией 002 без дополнительных аксессуаров возможно измерение только модуля коэффициента передачи. С внешним мостом или направленным ответвителем возможно также измерение модуля коэффициента отражения (в формате обратные потери или коэффициент стоячей волны по напряжению - КСВН). Однако измерение модулей коэффициента передачи и отражения не может осуществляться в приборах с опцией 002 одновременно. В «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с опцией 020 реализовано уже одновременное измерение модулей коэффициента передачи и отражения. Соответственно, функции программного обеспечения для скалярных измерений с опцией 002 и с опцией 020 определенным образом различаются. Передняя панель прибора «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с установленной опцией 002 или 020 отличается от передней панели анализатора с базовой конфигурацией наличием дополнительного СВЧ разъема RF OUT. Если опции трекинг-генератора нет, на месте данного разъема устанавливается пластиковая заглушка.

2.31.1. Измерение модуля коэффициента передачи и отражения с опцией 002.

Доступ в меню опционального следящего генератора осуществляется нажатием на кнопку **SOURCE** в секции функциональных клавиш на передней панели анализатора (см. рисунок 71). Включение и выключение следящего генератора осуществляется нажатием на программную клавишу **Power**. Важно помнить, что после активации трекинг-генератора, разметка вертикальной шкалы будет изменена с абсолютных величин на относительные, а контроль амплитудных параметров при помощи кнопки **AMPT** станет недоступным. При первом нажатии на программную клавишу **Power** появляется диалоговое окно, в котором пользователю предлагается определить тип объекта измерения: пассивное устройство (PASSIVE) или усилитель (AMPLIFIER). В зависимости от выбора пользователя будут автоматически изменены настройки амплитудных параметров входа анализатора спектра и уровня мощности зондирующего сигнала. Очень важно не ошибиться при определении типа объекта измерения, потому как неправильный выбор (например, пассивное устройство вместо реального усилителя) может при измерении привести к перегрузке и даже к выходу из строя входных каскадов анализатора спектра.

Рис. 71. Активация следящего генератора



В упрощенном виде схема калибровки на проход (сквозное соединение) и последующего измерения модуля коэффициента передачи при помощи «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М», оснащенного опцией 002, показана на рисунке 72.

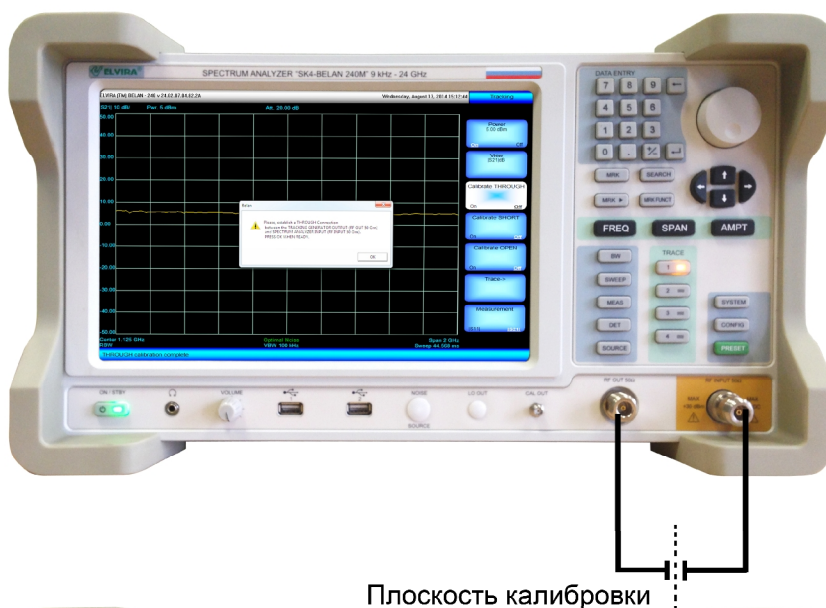
Если соединить при помощи коаксиального кабеля вход анализатора спектра с выходом следящего генератора, как показано на схеме, и включить мощность ГКЧ, то на экране прибора вместо шумов будет отображена относительно прямая линия с некоторой неравномерностью амплитудно-частотной характеристики (как показано на рисунке 73). Это так называемая «сырая» неравномерность АЧХ сквозного соединения, которая обусловлена частотной неравномерностью в тракте зондирующего источника, частотной неравномерностью используемых кабельных сборок и частотной неравномерностью в приемном тракте анализатора. В приборе с опцией 002 для объекта измерения «усилитель» по умолчанию устанавливается значение выходной мощности в -5 дБм, для объекта измерения «пассивное устройство» по умолчанию устанавливается значение выходной мощности в +5 дБм. Пользователь может изменить данное значение при помощи ввода числа от +5 дБм до -5 дБм с клавиатуры или при помощи кнопок шагового изменения данных.

Программная клавиша **Calibrate THROUGH** служит для запуска калибровки на сквозное соединение. При помощи калибровки на сквозное соединение математическим способом устраняется частотная неравномерность выходной мощности трекинг-генератора, частотная неравномерность входного тракта анализатора спектра, а также вносимое ослабление в кабельных сборках и переходах. Коэффициент

передачи в точке калибровки без объекта измерения после выполнения калибровки на проход должен принять значение в 0.00 дБ.

Рис. 72. Схема калибровки и измерения $|S_{21}|$ для «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с опцией 002.

а) Калибровка



б) Измерение



При нажатии на программную клавишу **Calibrate THROUGH** появляется диалоговое окно (см. рисунок 74), где пользователю предлагается установить сквозное соединение между выходом трекинг-генератора RF OUT 50Ω и входом анализатора спектра RF IN 50Ω. Нажатие на кнопку **OK** в данном диалоговом окне запустит процесс калибровки. После калибровки на экране будет отображена прямая линия, соответствующая ослаблению в 0.00 дБ, а в программной клавише **Calibrate THROUGH** режим параметра будет изменен на **ON**.

При измерении модуля коэффициента передачи $|S_{21}|$ четырехполюсника, тестируемое устройство включается в разрыв в точке соединения кабелей (в плоскость калибровки, как показано на схеме 72). Желательно, чтобы плоскость калибровки приходилась непосредственно на разъемы тестируемого устройства. Если подключить тестируемое устройство без дополнительных переходов не представляется возможным, следует использовать переходы инструментального качества с минимальным уровнем вносимого ослабления и минимальным собственным КСВН.

Рис. 73. Неравномерность выходной мощности следящего генератора до калибровки.

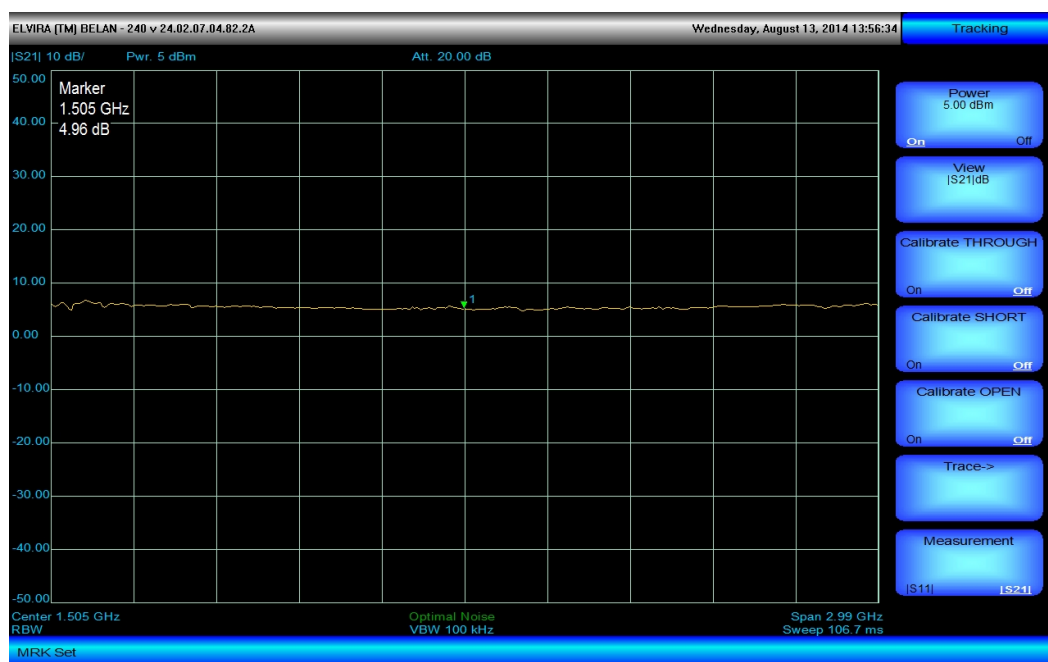
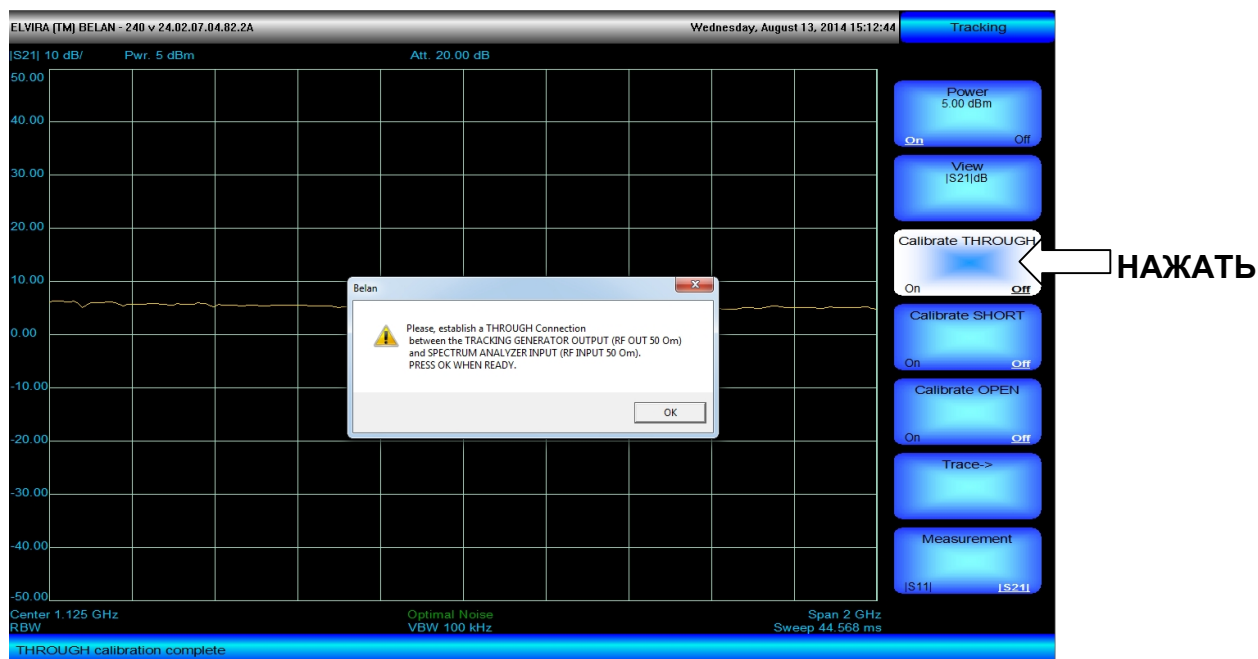
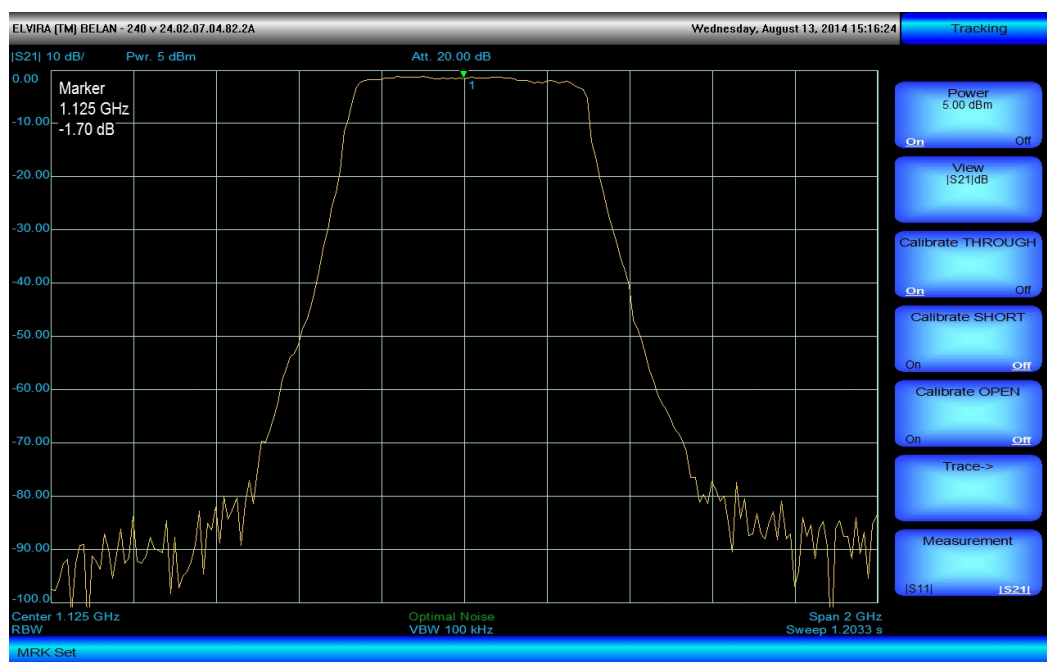


Рис. 74. Запуск процедуры калибровки на сквозное соединение.



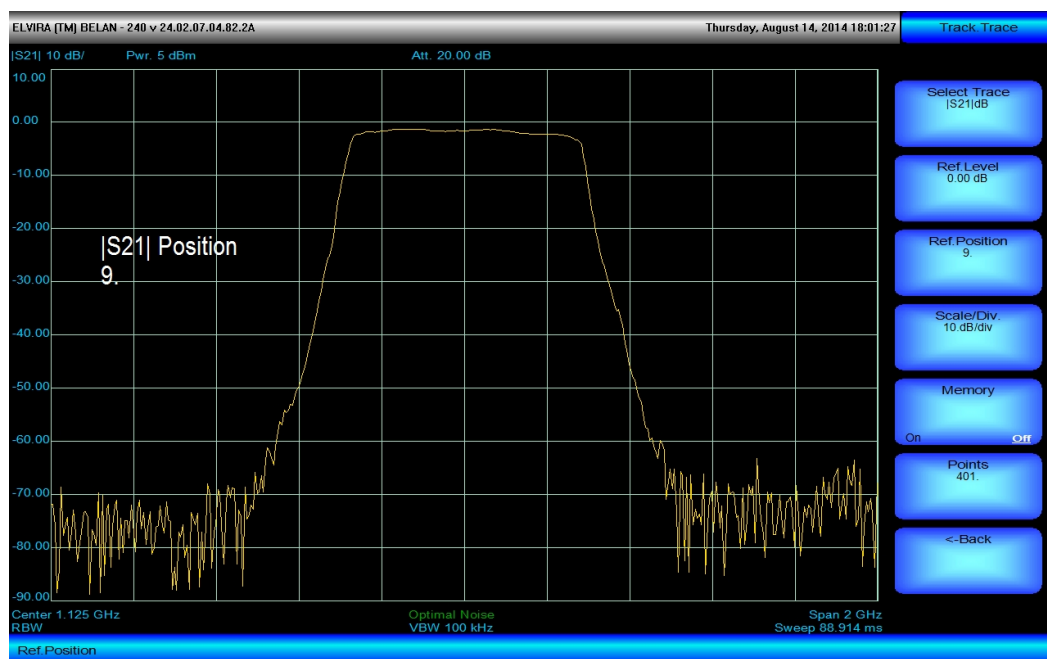
Последовательность действий при тестировании модуля коэффициента передачи $|S_{21}|$ должна быть такой. Следует нажать кнопку **FREQ** и при помощи соответствующих программных клавиш установить требуемую полосу частот либо путем назначения начальной и конечной частоты, либо путем установки центральной частоты и полосы обзора. Далее нажать кнопку **SOURCE**, включить мощность ГКЧ (предварительно выбрав тип объекта измерения), соединить кабели в точке плоскости калибровки, как показано на рисунке 72, выполнить калибровку на сквозное соединение путем нажатия программных клавиш **Calibrate THROUGH** и **OK** в появившемся диалоговом окне; включить в разрыв тестируемое устройство и измерить его $|S_{21}|$ (АЧХ). Измеренный модуль коэффициента передачи типичного полосового фильтра (центральная частота 1125 МГц, полоса обзора 2 ГГц) показан на рисунке 75.

Рис. 75. Измеренный модуль коэффициента передачи $|S_{21}|$ полосового фильтра 1125 МГц.



Через программную клавишу **Trace->** обеспечивается доступ в дополнительное меню управления графиком (см. состав дополнительного меню на рисунке 76). Программная клавиша **Select Trace** позволяет выбрать график, к которому будут применяться последующие управляющие воздействия. Для опции 002 возможных вариантов графика три: $|S_{21}|$ dB (модуль коэффициента передачи в дБ), $|S_{11}|$ dB (модуль коэффициента отражения в дБ) и $|S_{11}|$ VSWR (модуль коэффициента отражения в формате KCBH). Выбранный тип графика отображается в программной клавише как текущее значение параметра.

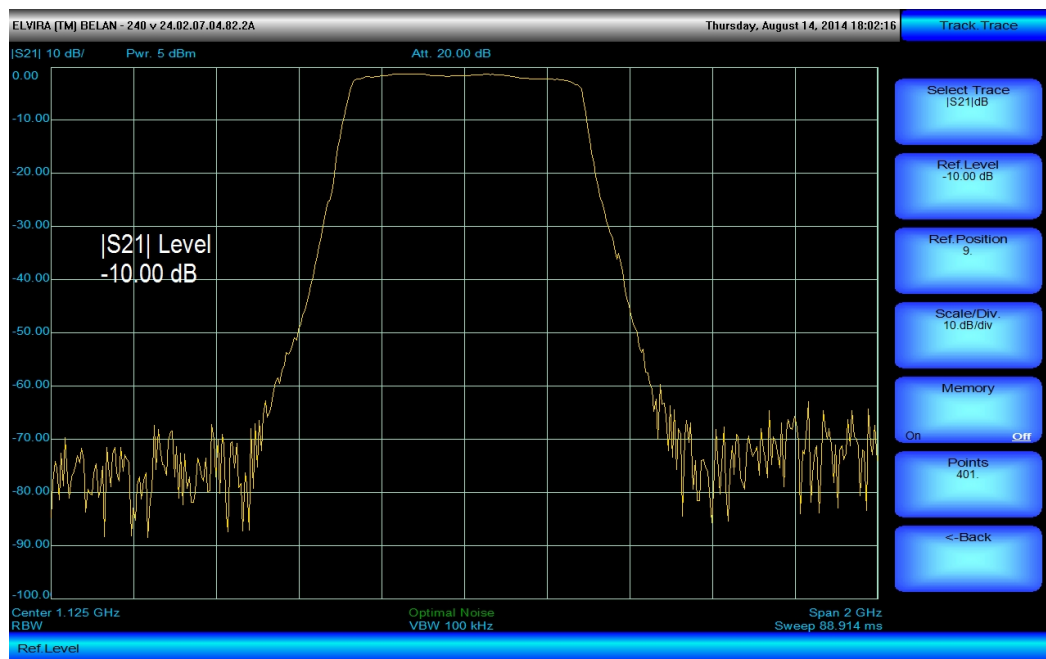
Рис. 76. Дополнительное меню управления графиком.



Программная клавиша **Ref.Level** позволяет задать значение опорного уровня, относительно которого будет рассчитываться по вертикали логарифмическая решетка в соответствии с выбранным масштабом. По

умолчанию значение опорного уровня приравняется к 0 дБ. Следует обратить внимание на то, что термин «опорный уровень» в режиме скалярного анализа наполнен совершенно иным смыслом по сравнению с режимом анализа спектра. В режиме анализатора спектра опорный уровень управляет коэффициентом усиления в блоке УПЧ (усилителя промежуточной частоты) перед оконечным АЦП (аналогово-цифровым преобразователем) и фактически определяет некий постоянный оптимальный уровень напряжения на входе АЦП. В режиме скалярного анализа опорный уровень служит лишь для изменения местоположения графика на вертикальной оси и не затрагивает никаких аппаратных настроек тракта прибора. На рисунке 77 показано, как изменяется положение графика на вертикальной оси при изменении опорного уровня с 0 дБ до -10 дБ при сохранении прочих параметров масштаба неизменными.

Рис. 77. Изменение опорного уровня с 0 дБ до -10 дБ для сдвига графика вверх по вертикали.



Аналогичного эффекта можно добиться, если при опорном уровне 0 дБ изменить положение опорного уровня на вертикальной оси. Это действие выполняется при помощи программной клавиши **Ref.Position**, которая определяет, какому делению логарифмической решетки присваивается значение опорного уровня (иными словами, «двигает» заданный опорный уровень по вертикали). Если значение параметра программной клавиши **Ref.Position** равно 0, то заданное значение опорного уровня (например, 0 дБ) соответствует самой нижней линии масштабной сетки. Если значение параметра программной клавиши **Ref.Position** равно 10, то заданное значение опорного уровня будет соответствовать уже самой верхней линии масштабной сетки. При тестировании фильтров на вносимые потери и требуемое подавление за полосой пропускания обыкновенно удобно значение опорного уровня в 0 дБ и его положение на девятой или десятой вертикальной линии масштабной сетки. Программная клавиша **Scale/Div** позволяет произвольно изменять масштаб логарифмической шкалы от 0.01 дБ на деление до 20 дБ на деление. Малые значения масштаба на деление позволяют осуществлять контроль неравномерности АЧХ, большие значения масштаба на деление используются при измерениях с большим динамическим диапазоном. На рисунке 78 показано измерение тестового полосового фильтра на частоту 1125 МГц в масштабе 14 дБ на деление. Для подобных измерений с высокой динамикой обычно следует улучшить чувствительность приемного тракта анализатора. Это достигается за счет сужения полосы пропускания. Регулировка полосы пропускания осуществляется стандартным образом, через кнопку **BW** (см. раздел 2.20). Однако следует отметить, что минимальное значение фильтра ПЧ в режиме скалярного анализа составляет не 1 Гц (как в режиме анализа спектра), а 100 Гц. При попытке установить меньшее значение на экране прибора появится соответствующая предупредительная надпись, а значение полосы пропускания останется равным 100 Гц. На рисунке 79 показан выигрыш в динамическом диапазоне измерения |S21| при сужении фильтра ПЧ с 3 МГц (значение по умолчанию) до 30 кГц. Для визуализации выигрыша по динамике в данном случае использована функция сохранения предыдущего графика в память. Сохранить график в память можно нажатием программной клавиши **Memory**, при этом режим данной клавиши изменяется на **ON**. Эта функция целесообразна при настройке объектов измерения относительно некоего сохраненного эталона. При масштабировании сохраненный график будет изменять свой масштаб, «следуя» за масштабом текущего графика.

Рис. 78. Измерение полосового фильтра 1125 МГц в масштабе 14 дБ на деление.

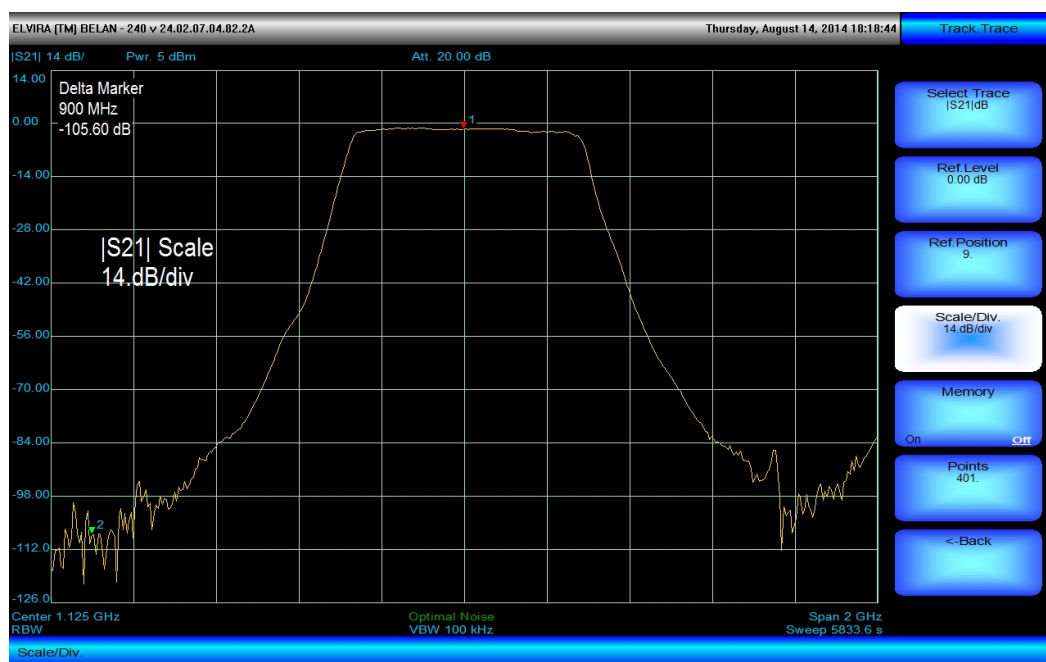
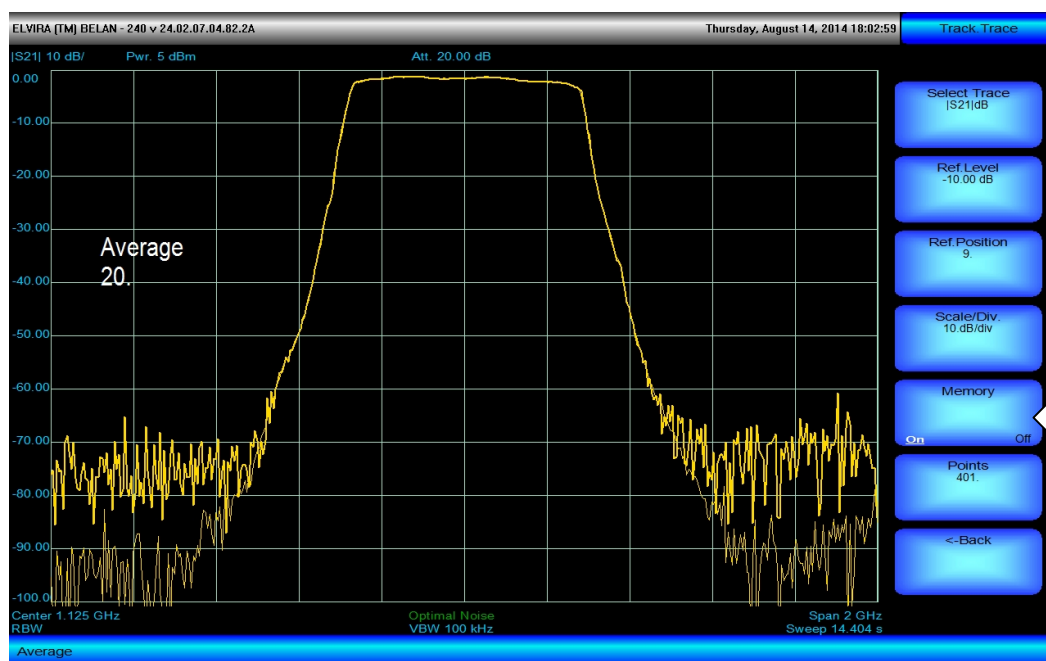


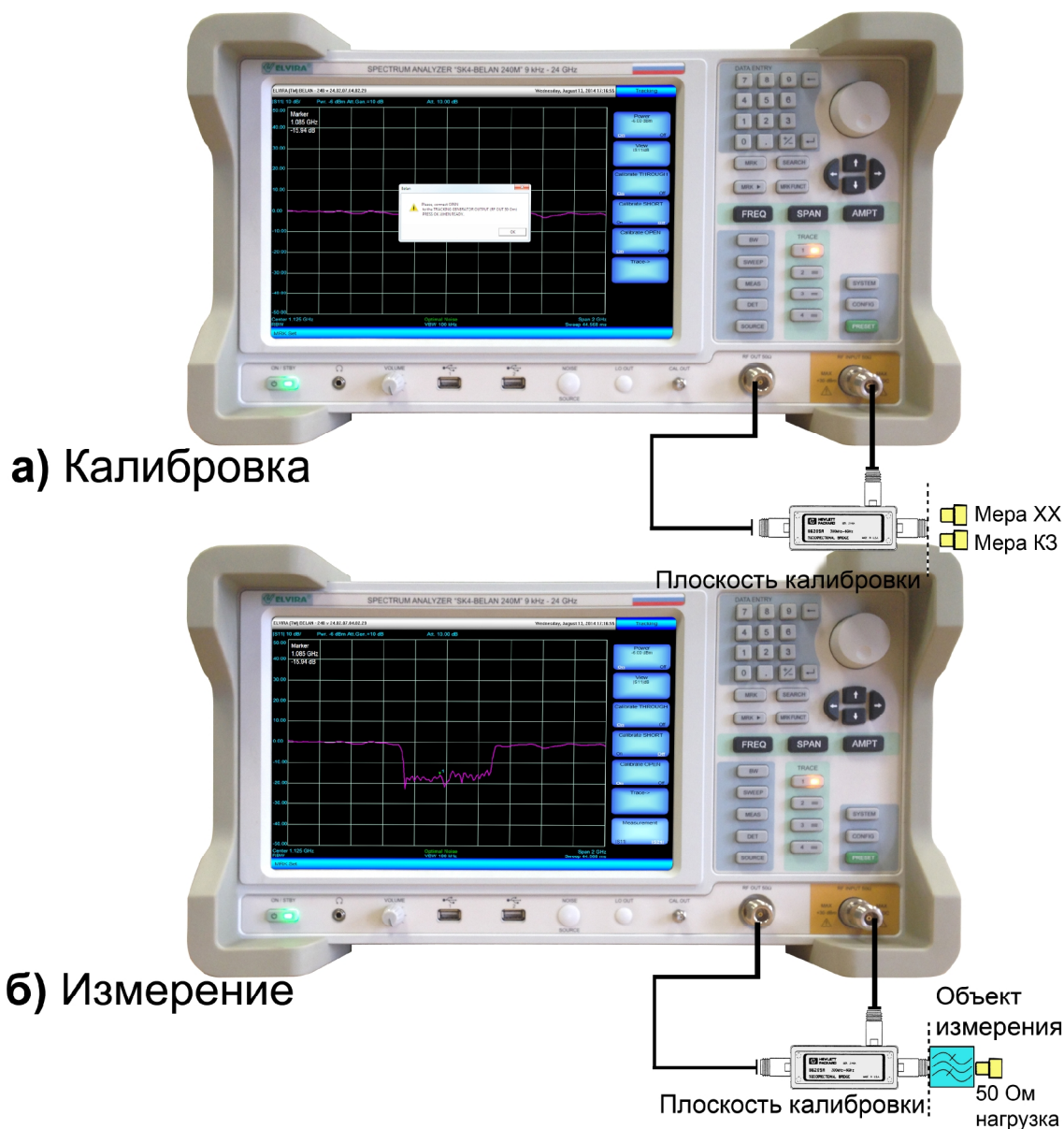
Рис. 79. Использование функции сохранения графика в память для сравнения динамики измерения с разными значениями полосы пропускания.



Программная клавиша **Points** позволяет задать количество точек в измерительной трассе (графике) от 11 до 451. Большее количество точек позволяет увидеть мелкие детали в характеристике объекта измерения и одновременно увеличивает время измерения. Если после выполнения калибровки изменить количество точек в большую или меньшую сторону, то калибровка деактивирована не будет (что иногда случается в других приборах), а будет выполнена интерполяция калибровочной кривой применительно к обновленному количеству точек измерения.

При тестировании модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$ четырехполюсника при помощи анализатора спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с опцией 002 необходим внешний направленный ответвитель или мост измерения обратных потерь соответствующего диапазона частот. Такой мост или ответвитель в опцию 002 не включен и должен заказываться отдельно. Рекомендуется к использованию направленный ответвитель модели 86205А производства компании Keysight Technologies с диапазоном частот 300 кГц...6 ГГц или любой другой, обладающий направленностью >30 дБ. Общая схема калибровки и измерения модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$ тестируемого устройства при помощи внешнего направленного ответвителя показана на рисунке 80.

Рис. 80. Схема калибровки и измерения $|S_{11}|$ с внешним мостом (направленным ответвителем) для «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с опцией 002



Последовательность действий при тестировании модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$ на анализаторе «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с опцией 002 должна быть такой. Следует нажать кнопку **FREQ** и при помощи соответствующих программных клавиш установить требуемую полосу частот: либо путем назначения начальной и конечной частоты, либо путем установки центральной частоты и полосы обзора. Далее нажать кнопку **SOURCE**, включить мощность ГКЧ (предварительно выбрав тип объекта измерения). Осуществить правильное подключение направленного ответвителя (см. рисунок 80). Направленный ответвитель подключается к выходу ГКЧ в обратном направлении, то есть его связанное плечо соединяется с входом анализатора спектра, а к прямому плечу подключается тестируемое устройство.

Нажать программную клавишу **Measurement** (эта программная клавиша отсутствует у приборов с опцией 020, где есть встроенный мост измерения обратных потерь). По умолчанию режим данной программной клавиши установлен в положение **|S21|**. При нажатии на программную клавишу **Measurement** появляется диалоговое окно, как показано на рисунке 81. В этом окне говорится о том, что для измерения модуля коэффициента отражения на приборах с опцией 002 необходимо подключить внешний направленный ответвитель. Если ответвитель подключен в соответствии со схемой на рисунке 80, то следует нажать **ОК**, режим программной клавиши **Measurement** будет при этом изменен на **|S11|**. Если ответвителя в наличии нет, следует нажать **Отмена** (в этом случае измерение **|S11|** невозможно).

Рис. 81. Предупреждение о необходимости использования внешнего направленного ответвителя для измерения модуля коэффициента отражения в приборах с опцией 002.

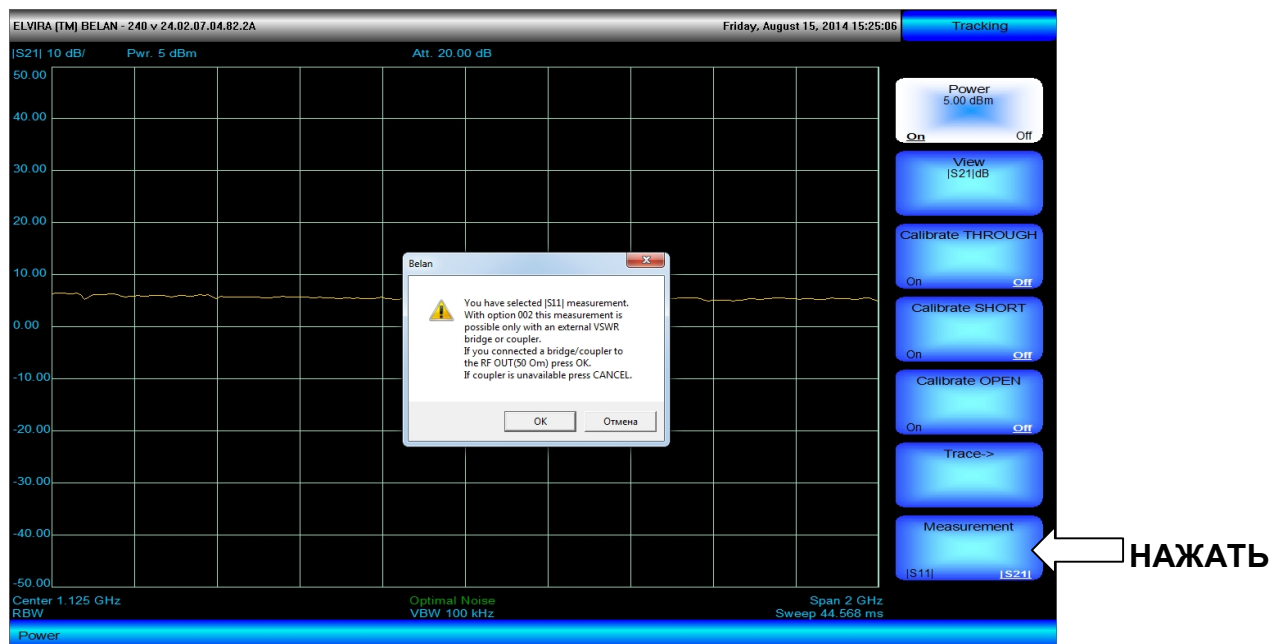
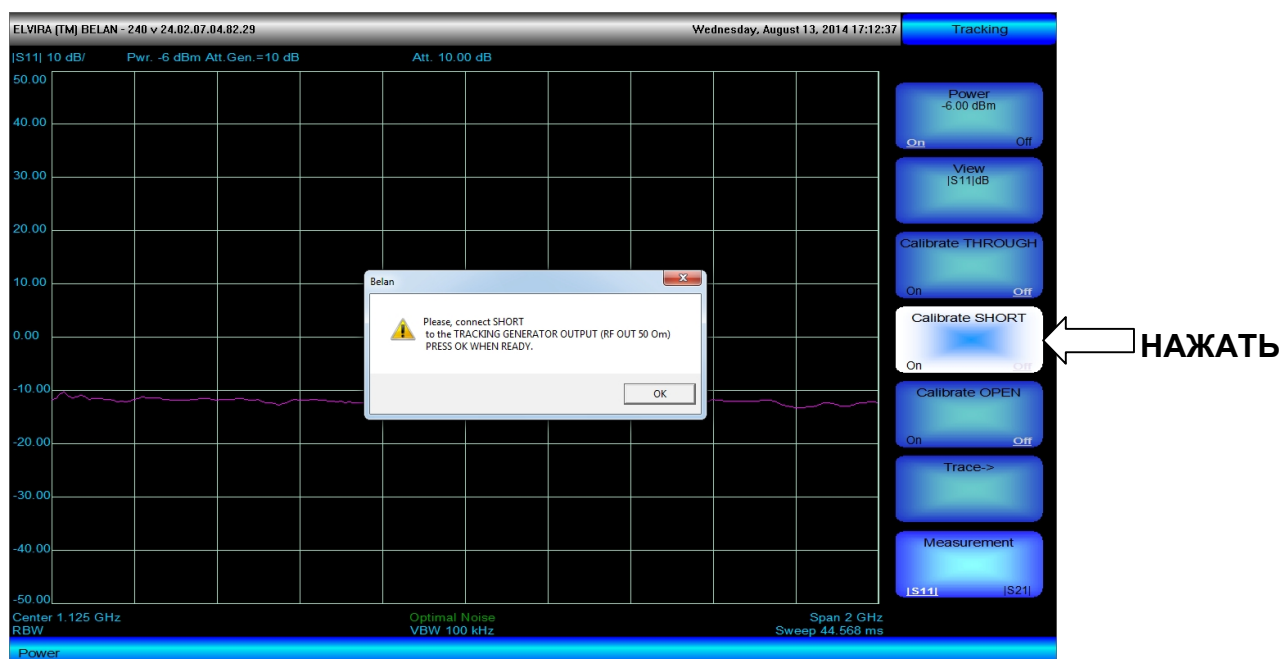
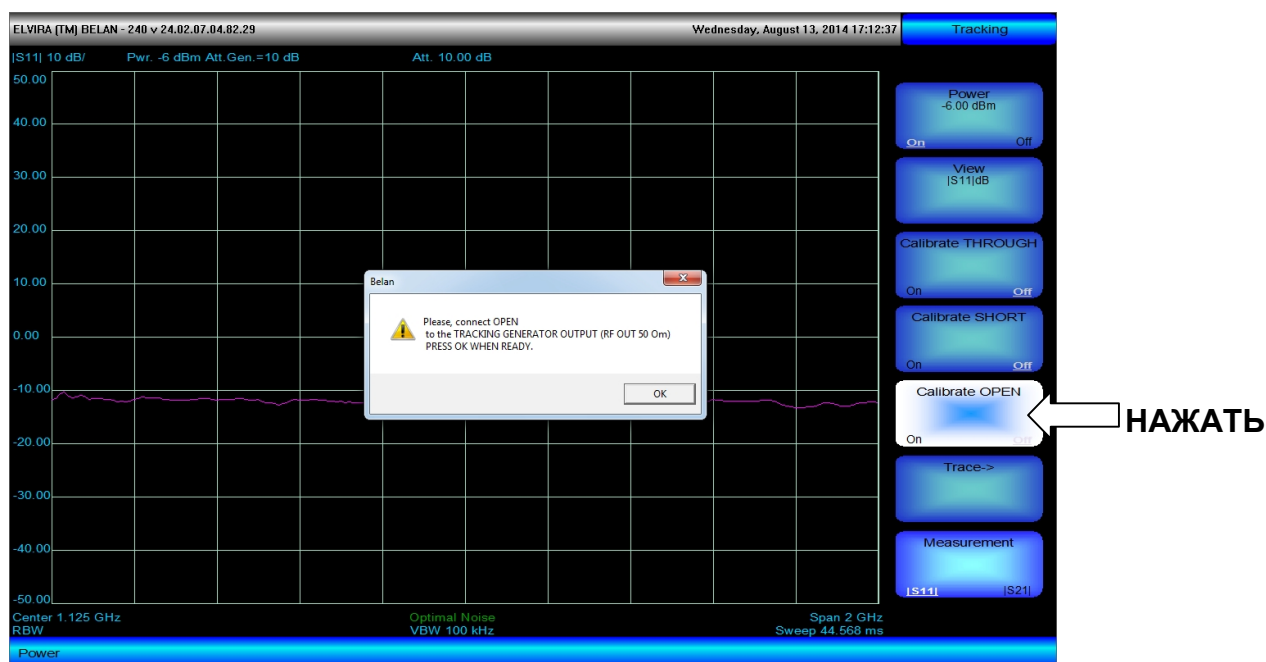


Рис. 82. Диалоговое окно с предупреждением о необходимости присоединения меры КЗ для калибровки на короткозамкнутое соединение.



Если подключение направленного ответвителя было выполнено правильно, то на экране должна появиться сравнительно прямая линия на уровне, соответствующем значению выходной мощности ГКЧ за вычетом потерь в связанном плече используемого направленного ответвителя. Перед измерением обратных потерь необходимо выполнить калибровку на отражение. Предусмотрено три варианта калибровки на отражение: только на короткозамкнутое соединение (КЗ), только на холостое соединение (XX), и на КЗ плюс XX. Калибровка на КЗ / XX / КЗ и XX осуществляется в точке подключения тестируемого устройства (см. рисунок 80). Когда в точку подключения тестируемого устройства присоединена мера КЗ, следует нажать на программную клавишу **Calibrate SHORT** и в появившемся диалоговом окне нажать кнопку **OK**, что запустит процедуру калибровки. После выполнения калибровки на экране появится относительно прямая линия с уровнем обратных потерь в 0 дБ. Аналогичным образом (нажатием программных клавиш **Calibrate OPEN** и **OK**) выполняется калибровка на холостое соединение (см. рисунок 83).

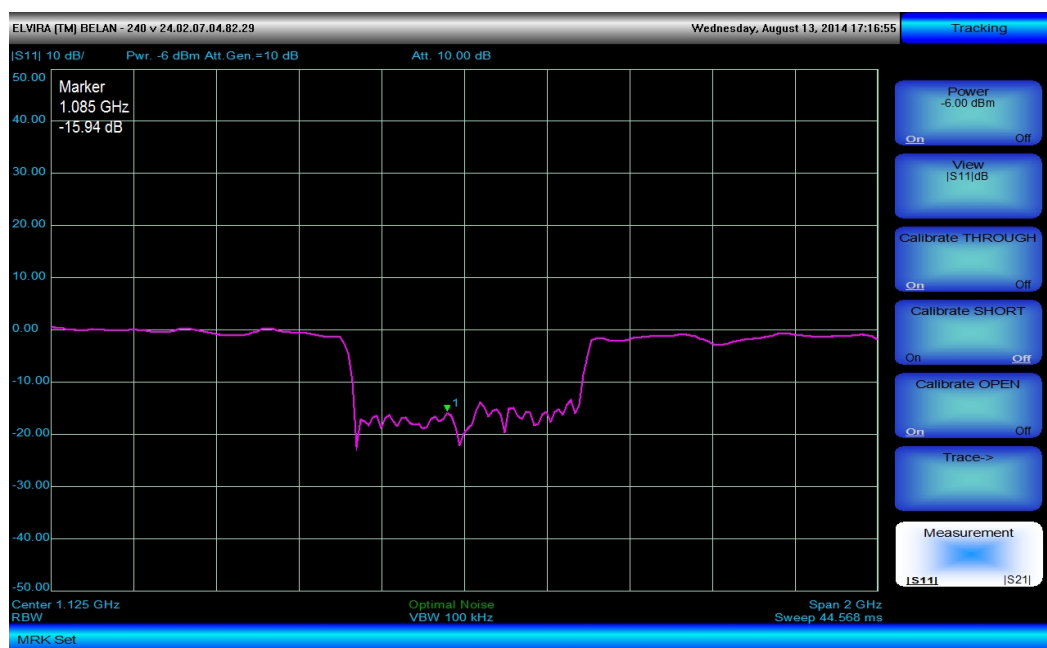
Рис. 83. Диалоговое окно с предупреждением о необходимости присоединения меры XX для калибровки на холостое соединение.



Если качественной меры полного отражения XX нет в наличии, при калибровке на XX тестовый порт направленного ответвителя можно просто оставить открытым. Калиброваться на КЗ без меры КЗ нельзя. Если нет меры КЗ, то разумно ограничиться лишь калибровкой на холостой ход. Последовательность выполнения калибровок на КЗ и на XX значения не имеет. Если выполнена калибровка только по одной из мер полного отражения, именно эта калибровка и будет использоваться в процессе измерения. В этом случае режим **ON** будет включен только в одной из программных клавиш **Calibrate SHORT** или **Calibrate OPEN** (что позволяет проконтролировать, по какой именно из мер полного отражения калибровались). Если калибровка была выполнена по двум мерам полного отражения, то данные двух калибровок будут автоматически усредняться между собой в процессе измерения (в этом случае режим **ON** будет активирован в обеих программных клавишах). Калибровка по двум мерам полного отражения позволяет снизить максимальную дисперсию (ripple) полного отражения на измерительной трассе в два раза.

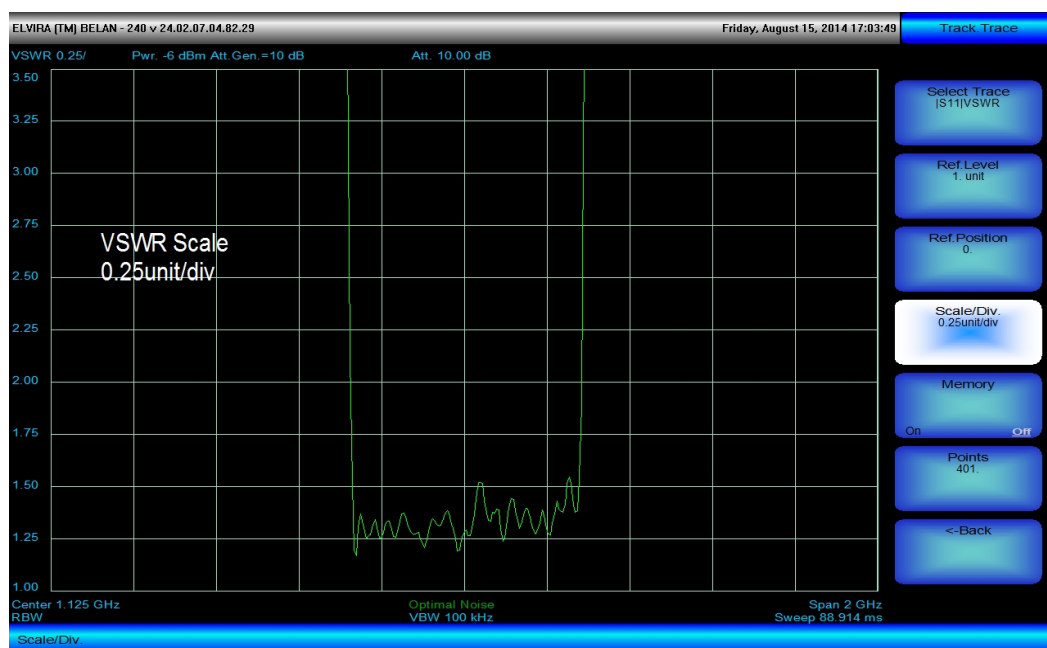
Для того чтобы измерить модуль коэффициента отражения четырехполосника, следует присоединить тестируемое устройство в точку калибровки (см. рисунок 80). Выход четырехполосника при этом должен быть нагружен на 50 Ом. Для прибора с опцией 002 существует два формата представления модуля коэффициента отражения: **|S11|dB** (обратные потери в дБ) и **|S11|VSWR** (коэффициент стоячей волны по напряжению или КСВН). Выбор между этими форматами осуществляется при помощи программной клавиши **View**. Выбранный формат отображается как текущее значение параметра данной программной клавиши. На рисунке 84 показано измерение обратных потерь полосового фильтра 1125 МГц на приборе с опцией 002. На рисунке 85 показано измерение КСВН того же тестового фильтра.

Рис. 84. Измерение обратных потерь полосового фильтра 1125 МГц при помощи внешнего направленного ответвителя на приборе с опцией 002.



Масштабирование и перемещение графика обратных потерь или KCBH по вертикальной оси, а также его сохранение в память осуществляется через дополнительное меню программной клавиши **Trace->** таким же образом, как описано выше для процедуры измерения $|S_{21}|$. Отдельное внимание нужно обратить лишь на специфику масштабирования графика $|S_{11}|/VSWR$ (KCBH). Для него не может быть изменено положение опорного уровня. Опорный уровень для графика KCBH равен единице и всегда располагается на нижней линии масштабной сетки (в программной клавише **Ref.Position** установлено значение параметра 0). Это связано с тем, что значений KCBH меньше единицы быть не может.

Рис. 85. Измерение KCBH полосового фильтра 1125 МГц при помощи внешнего направленного ответвителя на приборе с опцией 002.



При измерении модуля коэффициента отражения на приборах с опцией 002 целесообразно придерживаться следующих практических рекомендаций:

1) Используйте направленный ответвитель (мост измерения обратных потерь) соответствующего диапазона частот. Желательно, чтобы эффективная направленность ответвителя (моста) была высокой (не менее 30дБ) в диапазоне рабочих частот. Это соответствует нижнему пределу измерения КСВН в 1.065. Если этого недостаточно, то «сырая» направленность моста должна быть еще лучше. Кабели и переходы должны быть высокого (инструментального) качества.

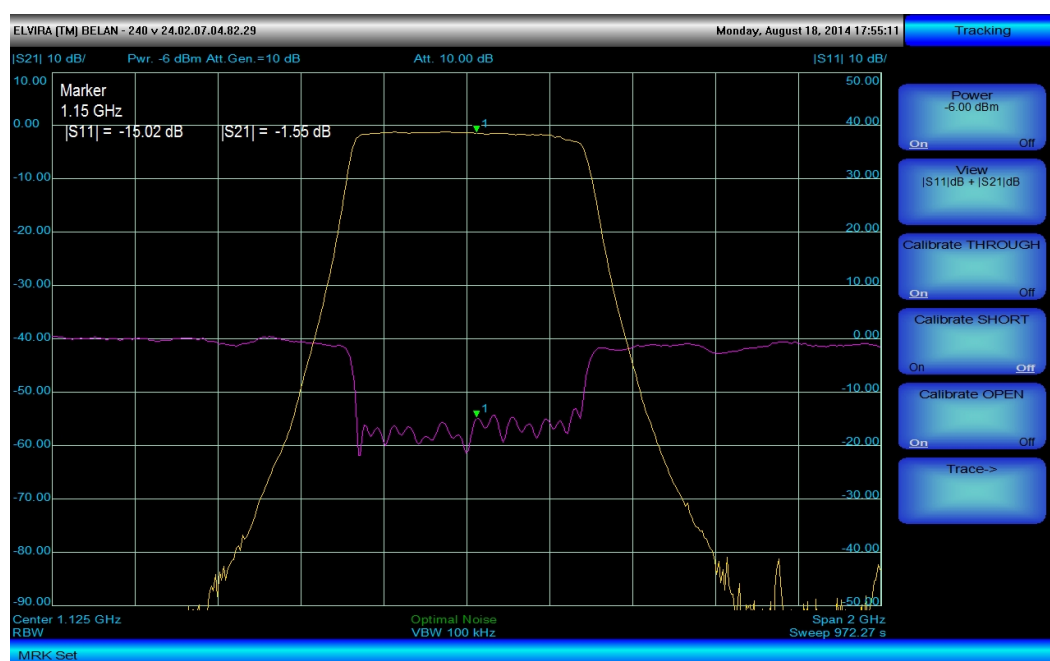
2) Направленность моста или направленного ответвителя является основным фактором, ограничивающим нижний предел измерения модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$, но не единственным. В качестве пояснительного примера рассмотрим прибор с опцией 002 (следающий генератор до 3 ГГц). Предположим, что в качестве объекта измерения выбрано пассивное устройство. В этом случае по умолчанию будет выставлен уровень мощности зондирующего сигнала в +5 дБм, а в приемном тракте анализатора спектра будет принудительно установлено ослабление аттенюатора в 20 дБ (это значение изменить нельзя). Шумовая дорожка при таких настройках и использовании полосы пропускания в 3 МГц будет находиться на уровне -60 дБм. Начальная динамика измерения составляет, таким образом, около 65 дБ (+5 дБм – (-60дБм) = 65 дБ). Однако из этого значения следует вычесть коэффициент связи моста (или используемого направленного ответвителя). Например, для Keysight 86205A этот коэффициент связи составляет 16 дБ. Это значит, что остается 49 дБ теоретической динамики измерения модуля коэффициента отражения. Такая цифра позволяет максимально задействовать направленность измерительного моста Keysight 86205A. Однако если используется направленный ответвитель с большим коэффициентом связи (например, 25 дБ), то шумы прибора могут приближаться к направленности моста. В этом случае, для того чтобы задействовать всю направленность измерительного моста, нужно использовать максимальный уровень зондирования, а если это не представляется возможным (например, если тестируется усилитель), то необходимо сузить полосу пропускания.

3) При прецизионных измерениях обратных потерь значительный вклад в измеренные результаты может вносить неидеальное согласование с источником. Выход трекинг-генератора «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» имеет КСВН ≤ 2.0 , что может приводить к переотражениям и вносить дополнительные ошибки в измерения. Для минимизации неравномерности, связанной с неидеальным согласованием источника, можно рекомендовать использовать по выходу трекинг-генератора прибора с опцией 002 дополнительный прецизионный фиксированный аттенюатор в 10 дБ. При максимальной мощности зондирующего сигнала в +5 дБм величина 0 дБ обратных потерь с учетом аттенюатора 10 дБ и потерь в связанном плече моста 16 дБ будет соответствовать -21 дБм на входе анализатора. Если рассматривать описанный выше пример, шумовая дорожка будет проходить на уровне -60 дБм. Соответственно, разница между полным отражением (нулем обратных потерь) и шумами составит 39 дБ, что все равно превышает эффективную направленность моста Keysight 86205A. Если же используется мост большей направленности, необходимо дополнительно сужать полосу пропускания для улучшения чувствительности приемного тракта. Таким образом, нижний порог измерения модуля коэффициента отражения за счет ввода согласующего аттенюатора в 10 дБ в большинстве случаев не ухудшается. Зато согласование с источником улучшается на 20 дБ (переотражения проходят через аттенюатор дважды). Важно помнить, что аттенюатор можно вводить между выходом ГКЧ и входом направленного ответвителя, но не между тестовым портом направленного ответвителя и тестируемым устройством. В последнем случае (если аттенюатор введен между тестовым портом и объектом измерения) эффективная направленность измерения будет снижена на величину ослабления аттенюатора.

2.31.2. Измерение модуля коэффициента передачи и отражения с опцией 020.

В анализаторах спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с опцией 020 измерение модулей коэффициента передачи и отражения несколько отличается от аналогичных измерений на приборах с опцией 002. Различия касаются, в первую очередь, измерения $|S_{11}|$, а также возможных форматов представления данных. Поскольку в «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с опцией 020 мост измерения обратных потерь высокой направленности уже встроен, внешнего направленного ответвителя для измерения модуля коэффициента отражения не нужно. Кроме того, измерение модуля коэффициента передачи $|S_{21}|$ и модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$ может осуществляться одновременно. И, наконец, благодаря наличию ступенчатого аттенюатора (с диапазоном регулировки 50 дБ степенями по 10 дБ) в тракте источника зондирующего сигнала, у приборов с опцией 020 может быть существенным образом улучшено согласование по выходу трекинг-генератора. Все это позволяет сделать скалярные измерения четырехполюсников на приборах с опцией 020 более удобными, повторяющимися и достоверными.

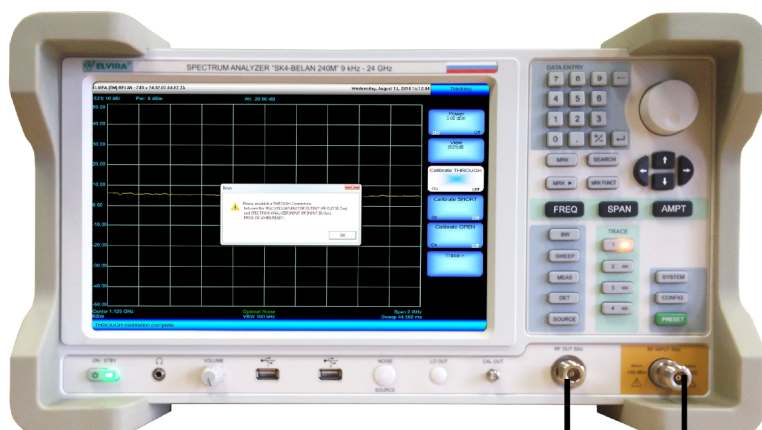
Рис. 86. Одновременное измерение обратных потерь и АЧХ полосового фильтра 1125 МГц в режиме наложения на приборе с опцией 020.



Последовательность действий при тестировании модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$ и модуля коэффициента передачи $|S_{21}|$ на анализаторе «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с опцией 020 должна быть такой. Следует нажать кнопку **FREQ** и при помощи соответствующих программных клавиш установить требуемую полосу частот: либо путем назначения начальной и конечной частоты, либо путем установки центральной частоты и полосы обзора. Далее нажать кнопку **SOURCE**, включить мощность ГКЧ (предварительно выбрав тип объекта измерения). Осуществить калибровку на проход (сквозное соединение) и на отражение, как показано на рисунке 87. На первом шаге калибровки (калибровка на проход) необходимо нажать программную клавишу **Calibrate THROUGH**, после чего появится диалоговое окно, в котором будет предложено установить сквозное соединение и по готовности нажать **OK**. После выполнения процедуры калибровки на проход в программной клавише **Calibrate THROUGH** включится режим параметра **ON**. На втором шаге следует выполнить калибровку на отражение. Предусмотрено три варианта калибровки на отражение: только на короткозамкнутое соединение (K3), только на холостое соединение (XX), и на K3 плюс XX. Калибровка на K3 / XX / K3 и XX осуществляется в точке подключения тестируемого устройства (см. рисунок 87). При нажатии на программную клавишу **Calibrate SHORT** появляется диалоговое окно, в котором предлагается присоединить в плоскости калибровки меру короткого замыкания и по готовности нажать **OK**. После выполнения калибровки на экране появится относительно прямая линия с уровнем обратных потерь в 0 дБ. При нажатии на программную клавишу **Calibrate OPEN** появляется диалоговое окно, в котором предлагается присоединить в плоскости калибровки меру холостого хода и по готовности нажать **OK**.

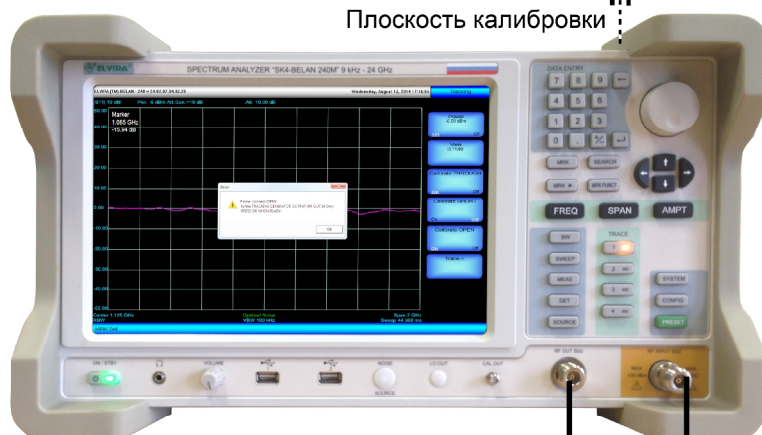
Рис. 87. Схема калибровки и одновременного измерения $|S_{11}|$ и $|S_{21}|$ для «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с опцией 020 (встроенный мост измерения обратных потерь).

а) Калибровка
шаг 1 из 2



Плоскость калибровки

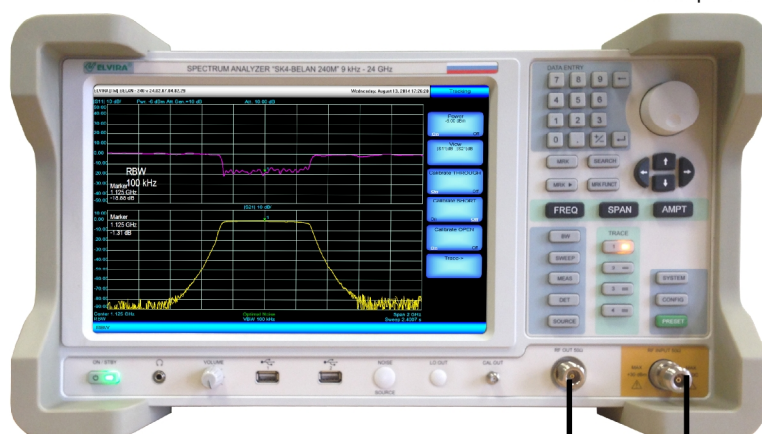
б) Калибровка
шаг 2 из 2



Плоскость калибровки

Мера XX
Мера K3

в) Измерение



Объект измерения



Если качественной меры полного отражения XX нет в наличии, при калибровке на XX тестовый порт можно просто оставить открытым. Калиброваться на КЗ без меры КЗ нельзя. Если нет меры КЗ, то разумно ограничиться лишь калибровкой на холостой ход. Последовательность выполнения калибровок на КЗ и на XX значения не имеет. Если выполнена калибровка только по одной из мер полного отражения, именно эта калибровка и будет использоваться в процессе измерения. В этом случае режим **ON** будет включен только в одной из программных клавиш **Calibrate SHORT** или **Calibrate OPEN** (что позволяет проконтролировать, по какой именно из мер полного отражения калибровались). Если калибровка была выполнена по двум мерам полного отражения, то данные двух калибровок на отражение будут автоматически усредняться между собой в процессе измерения (режим **ON** будет активирован в обеих программных клавишах). Это позволяет снизить в два раза максимальную дисперсию (ripple) полного отражения на измерительной трассе.

Рис. 88. Одновременное измерение КСВН и АЧХ полосового фильтра 1125 МГц в режиме наложения на приборе с опцией 020.

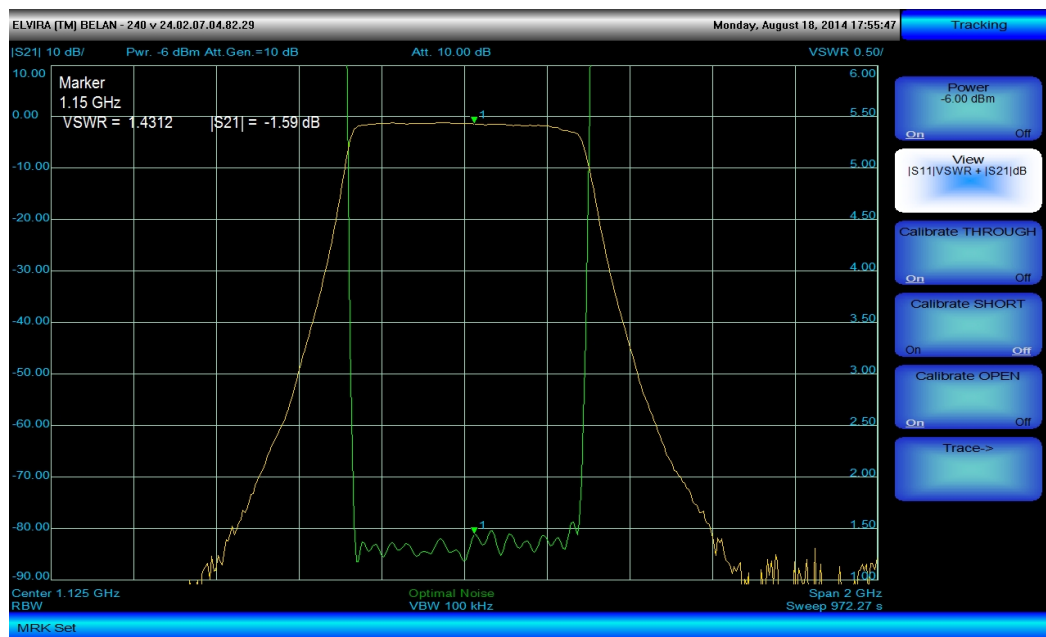
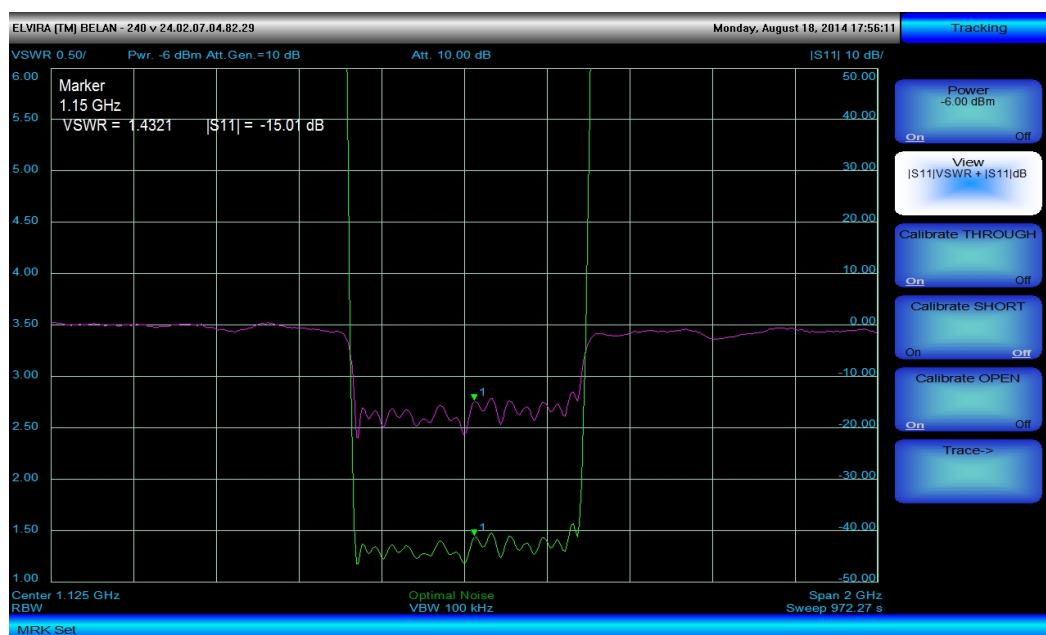


Рис. 89. Одновременное измерение обратных потерь и КСВН полосового фильтра 1125 МГц в режиме наложения на приборе с опцией 020.



Как уже было сказано, помимо аппаратных особенностей, у опции 020 есть ряд дополнительных возможностей программного обеспечения в части представления данных измерения. Если у приборов с опцией 002 программная клавиша **View** предоставляет возможность выбора всего из трех вариантов формата результатов измерения: **|S21|dB** (модуль коэффициента передачи в дБ), **|S11|dB** (модуль коэффициента отражения в дБ), **|S11|VSWR** (модуль коэффициента отражения как KCBH), то в опции 020 добавляется еще 5 форматов, связанных с одновременным представлением **|S11|** и **|S21|**.

Рис. 90. Одновременное измерение обратных потерь и АЧХ полосового фильтра 1125 МГц в режиме двух отдельных окон на приборе с опцией 020.

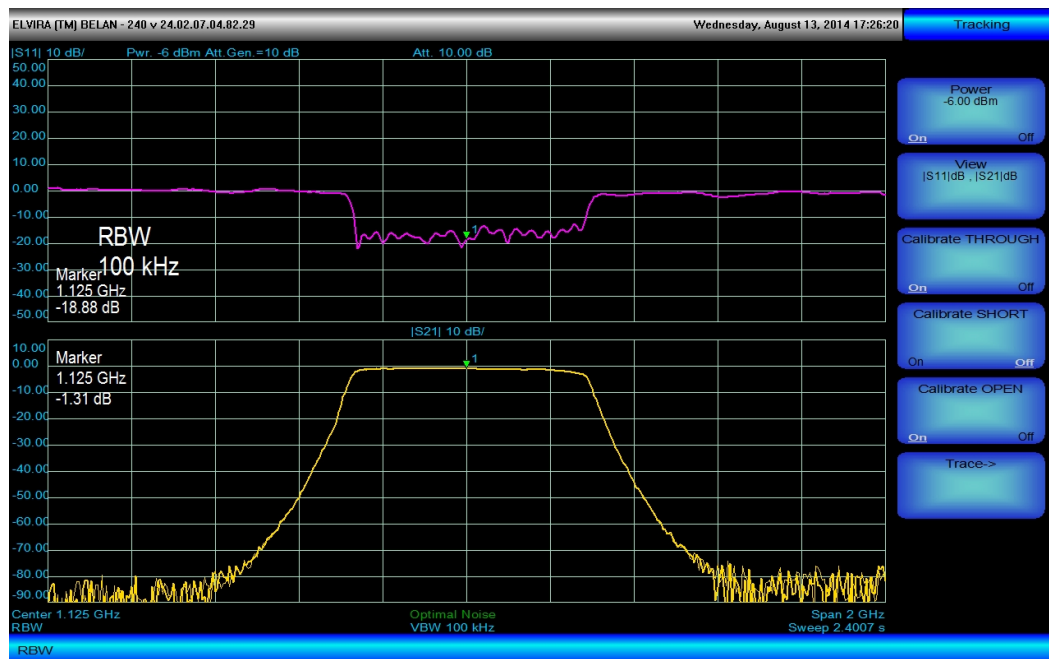
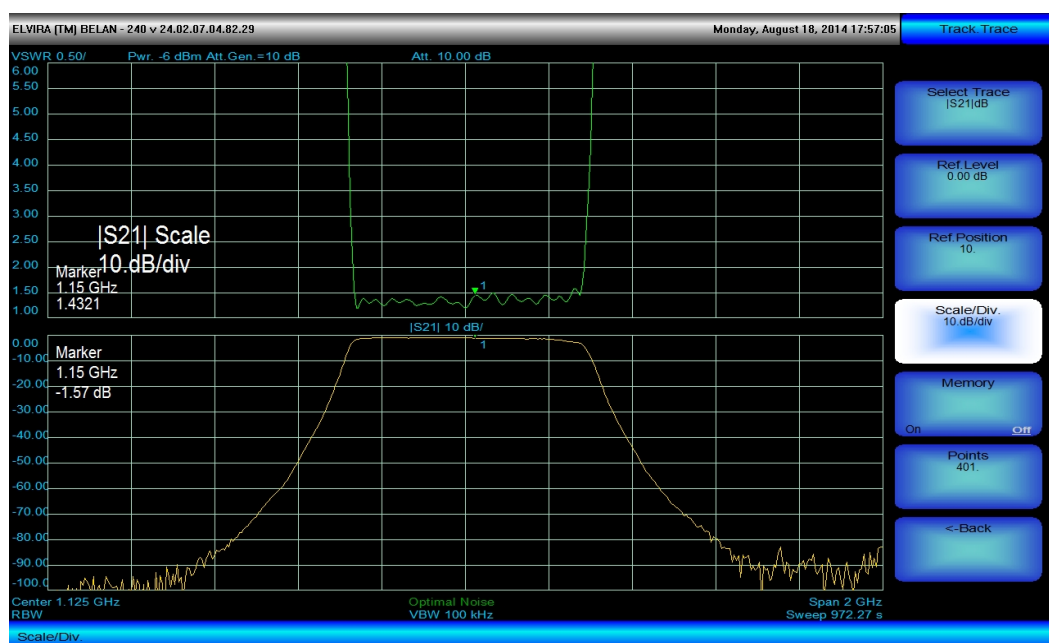


Рис. 91. Одновременное измерение KCBH и АЧХ полосового фильтра 1125 МГц в режиме двух отдельных окон на приборе с опцией 020.



Это 3 формата вывода данных, связанные с наложением графиков: **|S11|dB+|S21|dB** (см. рисунок 86), **|S11|VSWR+|S21|dB** (см. рисунок 88), **|S11|VSWR+|S11|dB** (см. рисунок 89). А также 2 формата, связанные с наблюдением измеренных графиков в двух индивидуальных окнах: **|S11|dB,|S21|dB** (см. рисунок 90) и **|S11|VSWR,|S21|dB|** (см. рисунок 91). Масштабирование и сохранение графиков в память осуществляется через дополнительное меню программной клавиши **Trace->** тем же способом, как описано в разделе 2.31.1. Важно помнить, что функции масштабирования всегда применяются только к тому графику, который отображается как текущий параметр в программной клавише **Select Trace**.

Сохранение данных скалярных измерений осуществляется согласно общей процедуре, описанной в разделе 2.36. При этом обратить внимание необходимо на следующие особенности. В приборе с опцией 020 при сохранении измерительной трассы в файл с расширением txt, независимо от формата, установленного на экране прибора, автоматически записываются четыре колонки цифр: частота в МГц, |S21| в дБ, |S11| в дБ, КСВН. В приборах с опцией 002 также формально сохраняется четыре колонки цифр, но значащими являются только две первые. В режиме измерения модуля коэффициента передачи в первые две колонки записываются частота в МГц и |S21| в дБ. Если при помощи внешнего моста (направленного ответвителя) осуществляется измерение |S11|, то при сохранении в файл txt данные |S11| в дБ этого измерения все равно записываются во вторую колонку.

2.32. Измерение коэффициента шума. Общие сведения.

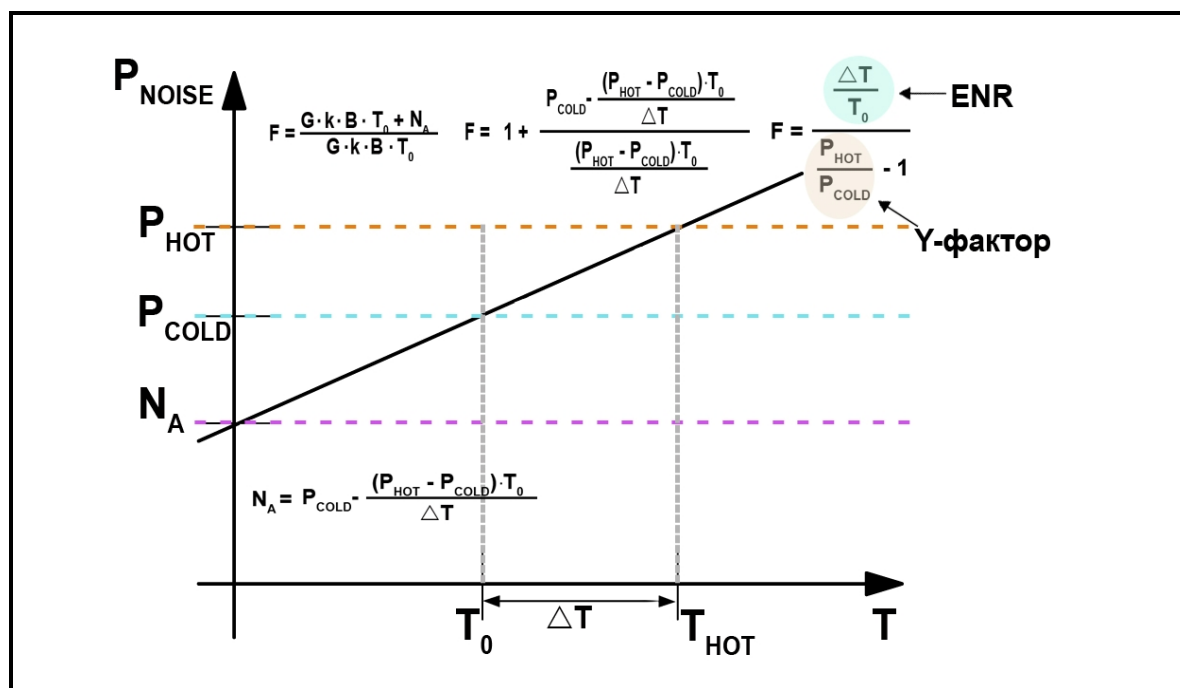
Анализаторы спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500» с установленными опциями 005, 05х и 006 могут использоваться для измерения коэффициента шума и коэффициента передачи усилителей и частотно-преобразующих устройств (в дальнейшем для синонимического обозначения таких устройств будут использоваться термины «конверторы» и «устройства с переносом частоты»).

Для измерений коэффициента шума в диапазоне частот 10 МГц...3 ГГц необходимым условием является наличие в приборе «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» опций 005 и 006, а также внешнего источника шума, управляемого напряжением 28 В, на заданный частотный диапазон с калиброванным значением ИОШТ (избыточного отношения шумовых температур).

Для измерений коэффициента шума в диапазоне частот от 10 МГц до верхней граничной частоты анализатора (24 ГГц, 40 ГГц или 50 ГГц) необходимым условием является наличие в приборе опций 005, 006, а также опции 052 (для модели «СК4-БЕЛАН 240М»), 054 (для модели «СК4-БЕЛАН 400М») или 055 (для модели «СК4-БЕЛАН 500М»). Также необходим внешний источник шума с калиброванным значением ИОШТ, управляемый напряжением 28 В, перекрывающий весь заданный частотный диапазон.

Для измерений коэффициента шума частотно-преобразующих устройств необходимо: (1) наличие опций 005, 006 (обязательно) и 052/054/055, если значение частоты выхода ПЧ конвертора превышает частоту 3 ГГц; (2) наличие внешнего источника шума, перекрывающего полосу частот по входу РЧ сигнала конвертора; (3) наличие внешнего синтезированного генератора сигналов, перекрывающего полосу частот по входу гетеродина конвертора и поддерживающего команды управления SCPI, (4) наличие внешних аппаратных СВЧ фильтров, позволяющих выделить только нужный продукт частотного преобразования и максимально ослабить нежелательные продукты преобразования на гармониках, а также паразитный пролаз гетеродина на ПЧ.

Рис. 92. Линейные свойства теплового шума в графическом представлении.



Измерение коэффициента шума и коэффициента передачи усилителей и устройств с переносом частоты в приборах «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500» осуществляется по методу Y-фактора (Y-Factor). В основе метода Y-фактора лежит использование линейных свойств тепловых шумов (см. рисунок 92). Известно, что мощность теплового шума P_{NOISE} резистора (согласованной нагрузки) является линейной функцией температуры T и определяется как:

$$P_{\text{NOISE}} = k \cdot T \cdot B, \text{ где:} \quad (2.32.1)$$

P_{NOISE} – мощность шума, генерируемая резистором, Вт;

k – постоянная Больцмана, 1.38×10^{-23} , Дж/К;

T – абсолютная температура, К;

B – полоса измерения, Гц.

Поскольку линейная функция может быть определена двумя точками, то для описания шумовых характеристик некоторого устройства (в том числе, его коэффициента шума) достаточно знать лишь значения мощности на его входе и выходе, взятые при двух разных температурах. Таким образом, в основе метода Y-фактора лежит измерение мощности шума на входе и выходе устройства при двух известных значениях температуры.

Базовое определение коэффициента шума (в линейном виде) для некоторого устройства следующее:

$$F = (S_{\text{IN}}/N_{\text{IN}})/(S_{\text{OUT}}/N_{\text{OUT}}), \text{ где:} \quad (2.32.2)$$

F – коэффициент шума устройства в линейном виде, раз;

S_{IN} – мощность сигнала на входе устройства, Вт;

S_{OUT} – мощность сигнала на выходе устройства, Вт;

N_{IN} – мощность шума на входе устройства, Вт;

N_{OUT} – мощность шума на выходе устройства, Вт.

В логарифмическом виде:

$$NF_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10} F, \text{ где:} \quad (2.32.3)$$

NF_{dB} – коэффициент шума в логарифмическом виде, дБ;

Поскольку при анализе коэффициента шума методом Y-фактора производится измерение не детерминированных сигналов, а спектральной плотности мощности шума на выходе тестируемого устройства при разных температурах согласованной нагрузки на его входе, базовая формула коэффициента шума 2.32.2 приобретает вид:

$$F = (k \cdot T \cdot B \cdot G + N_A) / k \cdot T \cdot B \cdot G, \text{ где:} \quad (2.32.4)$$

G – коэффициент передачи тестируемого устройства, раз;

N_A – дополнительный шум, генерируемый тестируемым устройством, Вт.

Оригинальность метода Y-фактора состоит в том, что он позволяет при расчете коэффициента шума опираться не на измерения абсолютных значений мощности шума (связанные со значительными погрешностями), а на отношение измерений мощностей при двух разных температурах T_{COLD} и T_{HOT} , которое и называется Y-фактором или Y . Кроме того, метод Y-фактора позволяет избежать необходимости непосредственно измерять коэффициент передачи G тестируемого устройства. Измерения мощности при двух разных температурах обеспечиваются за счет использования внешнего генератора шума (ГШ), для которого производитель нормирует специальный параметр - ИОШТ (избыточное соотношение шумовых температур) или ENR (Excess Noise Ratio).

$$ENR = (T_{\text{HOT}} - T_{\text{COLD}})/T_0, \text{ где:} \quad (2.32.5)$$

ENR – это избыточное отношение шумовых температур в линейном виде (в идеальном случае, когда $T_{\text{COLD}} = T_0$, $ENR = T_{\text{HOT}}/T_0 - 1$; производителем генератора шума ENR обычно нормируется в дБ);

T_{HOT} – это эффективная температура источника шума во включенном («горячем») состоянии;

T_{COLD} – это эффективная температура источника шума в выключенном («холодном») состоянии, в идеальном случае она равна $T_0 = 290\text{K}$;

T_0 – опорная шумовая температура, равная 290K.

При «холодной» согласованной нагрузке с температурой T_{COLD} на входе устройства мощность шума на его выходе можно записать как:

$$P_{OUT,COLD} = k \cdot T_{COLD} \cdot B \cdot G + N_A \quad (2.32.6)$$

При «горячей» согласованной нагрузке с температурой T_{HOT} на входе устройства мощность шума на его выходе можно записать как:

$$P_{OUT,HOT} = k \cdot T_{HOT} \cdot B \cdot G + N_A \quad (2.32.7)$$

В идеальном случае $T_{COLD} = T_0$, и, следовательно, $T_{HOT} = (ENR+1) \cdot T_0$.

Из (2.32.4) определим N_A как $N_A = (F-1) \cdot k \cdot T_0 \cdot B \cdot G$ и далее найдем следующее выражение:

$$(P_{OUT,HOT} / P_{OUT,COLD}) - 1 = (T_{HOT} - T_0) / (F \cdot T_0).$$

Тогда, с учетом (2.32.5), коэффициент шума F можно записать как:

$$F = ENR / (Y-1), \text{ где:} \quad (2.32.8)$$

Y (Y -фактор) – это отношение мощностей $P_{OUT,HOT}/P_{OUT,COLD}$ в раз;

Для общего случая, когда $T_{COLD} \neq T_0$ можно записать:

$$F = [ENR - Y \cdot (T_{COLD}/T_0 - 1)] / [Y - 1] \quad (2.32.9)$$

В логарифмическом виде выражение 2.32.9 записывается следующим образом:

$$NF_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \{ [10^{ENR, dB/10} - Y \cdot (T_{COLD}/T_0 - 1)] / [Y - 1] \} \quad (2.32.10)$$

Когда при измерении коэффициента шума тестируемое устройство подключается к измерителю, шумовые сигналы, генерируемые ГШ, до попадания на отсчетное устройство (блок цифровой обработки) измерителя проходят не только через объект измерения, но и через аналоговый тракт частотного преобразования измерителя. И в блоке цифровой обработки происходит оценка суммарной мощности шума не только ГШ и объекта измерения, но и самого измерителя. Таким образом, тестируемое устройство и измеритель следует рассматривать как двухкаскадную систему. Для определения коэффициента шума двухкаскадной системы используется формула Фрииса:

$$F_{SYSTEM} = F_1 + ([F_2 - 1] / G_1), \text{ где} \quad (2.32.11)$$

F_1 – коэффициент шума первого каскада (объекта измерения) в линейном виде, раз;

F_{SYSTEM} – общий коэффициент шума двухкаскадной системы в линейном виде, раз;

F_2 – собственный коэффициент шума измерителя (второго каскада) в линейном вид, раз;

G_1 – коэффициент передачи объекта измерения в линейном виде, раз.

Тогда коэффициент шума объекта измерения F_1 для случая $T_{COLD} = T_0$ можно записать как:

$$F_1 = ENR / (Y - 1) - ([F_2 - 1] / G_1) \quad (2.32.12)$$

Для случая $T_{COLD} \neq T_0$ выражение 2.32.12 принимает вид:

$$F_1 = [ENR - Y \cdot (T_{COLD}/T_0 - 1)] / [Y - 1] - ([F_2 - 1] / G_1) \quad (2.32.13)$$

Поскольку составляющая $[F_2-1]/G_1$ может оказывать существенное влияние на общий коэффициент шума двухкаскадной системы, в системах автоматического измерения КШ принимаются меры по предварительному определению действительного значения F_2 (собственного коэффициента шума измерителя). Для этого измерение коэффициента шума тестируемого устройства предваряется калибровкой, в ходе которой ГШ присоединяется непосредственно ко входу измерителя и определяется значение F_2 . А при определении КШ объекта измерения выполняется коррекция «эффекта второго каскада».

Большинство автоматических измерителей коэффициента шума оперируют понятием эффективной шумовой температуры T_E . При вводе данного понятия обычно рассматривается условный «идеальный» объект измерения, не вносящий шума. А дополнительный шум N_A , в реальности генерируемый внутри объекта, моделируется как дополнительный «разогрев» идеального объекта до температуры T_E . Если N_A представить как $k \cdot T_E \cdot B \cdot G$, то основное выражение для коэффициента шума (формула 2.32.4) можно записать как:

$$F = 1 + T_E/T_0 \quad (2.32.14)$$

Тогда в терминах шумовой температуры каскадная формула Фрииса приобретает вид:

$$T_{E,SYSTEM} = T_{E1} + T_{E2}/G_1, \text{ где} \quad (2.32.15)$$

$T_{E,SYSTEM}$ – общая эффективная шумовая температура системы, К;

T_{E1} – эффективная шумовая температура первого каскада (объекта измерения), К;

T_{E2} – эффективная шумовая температура второго каскада (измерителя), К;

Если через эффективную шумовую температуру T_E выразить Y-фактор, то будет получено следующее выражение:

$$Y = (T_E + T_{HOT}) / (T_E + T_{COLD}) \quad (2.32.16)$$

Учитывая, что градуировка ГШ привязана именно к шумовой температуре, а Y , согласно формуле 2.32.16, может быть представлен как отношение шумовых температур, анализатор спектра при калибровке и измерении коэффициента шума по методу Y-фактора рассчитывает именно значения эффективной шумовой температуры.

Из выражения 2.32.16 следует, что:

$$T_E = (T_{HOT} - Y \cdot T_{COLD}) / (Y-1) \quad (2.32.17)$$

Для случая $T_{COLD} \neq T_0$:

$$T_E = (ENR \cdot T_0 + T_{COLD} - Y \cdot T_{COLD}) / (Y-1) \quad (2.32.18)$$

При калибровке производятся прямые измерения мощности $P_{CAL,HOT}$ и $P_{CAL,COLD}$ в отсутствие тестируемого устройства, и по формуле 2.32.19 рассчитывается параметр T_{E2} .

$$T_{E2} = (ENR \cdot T_0 + T_{COLD} - Y_{CAL} \cdot T_{COLD}) / (Y_{CAL} - 1), \text{ где:} \quad (2.32.19)$$

Y_{CAL} - это отношение мощности включенного («горячего») источника шума $P_{CAL,HOT}$ к мощности выключенного («холодного») источника шума $P_{CAL,COLD}$, измеренное на выходе источника шума.

Затем с подключенным тестируемым устройством выполняются прямые измерения мощности $P_{OUT,HOT}$ и $P_{OUT,COLD}$, и по формуле 2.32.20 рассчитывается параметр $T_{E,SYSTEM}$.

$$T_{E,SYSTEM} = (ENR \cdot T_0 + T_{COLD} - Y_{SYSTEM} \cdot T_{COLD}) / (Y_{SYSTEM} - 1), \text{ где} \quad (2.32.20)$$

Y_{SYSTEM} - это отношение мощностей $P_{OUT,HOT}/P_{CAL,COLD}$ («горячей» к «холодной») на выходе объекта измерения, когда генератор шума на входе объекта измерения последовательно переключается, соответственно, между «горячим» и «холодным» состояниями.

Далее по формуле 2.32.21 определяется коэффициент передачи G_1 тестируемого устройства:

$$G_1 = (P_{OUT,HOT} - P_{OUT,COLD}) / (P_{CAL,HOT} - P_{CAL,COLD}) \quad (2.32.21)$$

После этого анализатор определяет эффективную шумовую температуру объекта измерения T_{E1} по формуле 2.32.22:

$$T_{E1} = T_{E,SYSTEM} - T_{E2}/G_1, \quad (2.32.22)$$

И наконец, по формулам 2.32.14 и 2.32.3 анализатор переводит T_{E1} в F_1 и $NF_{1,dB}$:

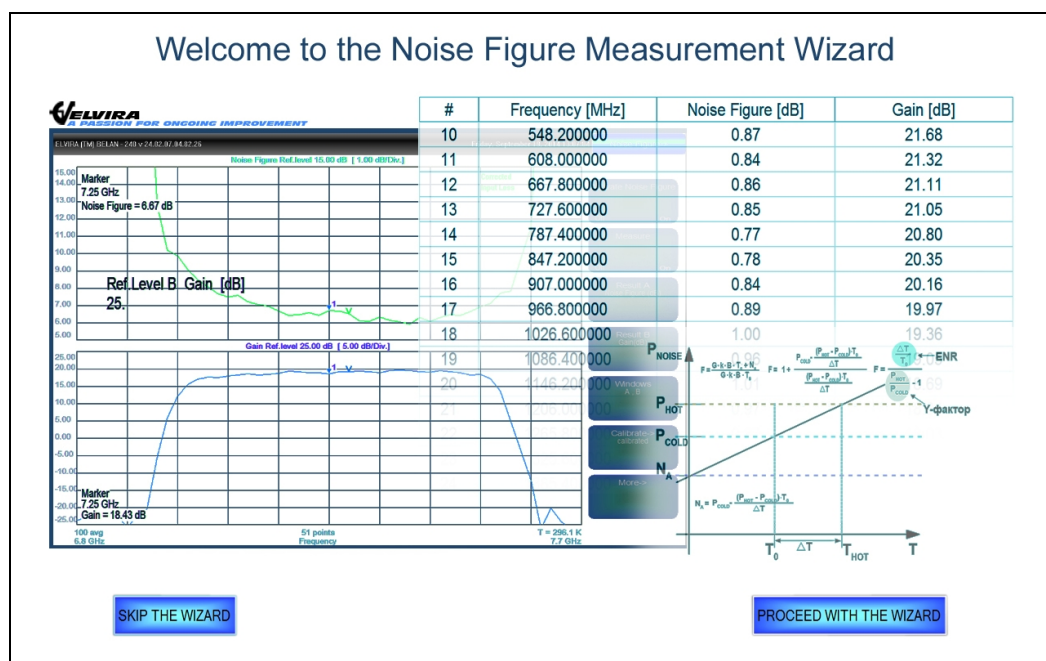
В случае, когда объектом измерения является устройство с переносом частоты, непосредственное измерение мощностей шума в процессе калибровки и измерения осуществляется на частотах, соответствующих ПЧ конвертора, в то время как значения ИОШТ генератора шума должны быть соотнесены с частотой входа РЧ сигнала конвертора. «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» учитывает это обстоятельство и автоматически применяет необходимую коррекцию, соответствующую частотному плану тестируемого конвертора.

Несмотря на прозрачность приведенных выше формул, практические измерения коэффициента шума усилителей и, в особенности, устройств с переносом частоты сопряжены с определенными сложностями в конфигурировании и корректной настройке измерительного оборудования, а точность и достоверность измерений могут быть сведены на нет ошибками оператора. Поэтому для облегчения и ускорения работы оператора по выполнению правильных и повторяемых измерений коэффициента шума в приборах «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» реализована интерактивная система конфигурирования измерений коэффициента шума **Noise Figure Measurement Wizard**. Функции и возможности этой системы будут детально рассмотрены ниже.

2.32.1. Измерение коэффициента шума усилителей при помощи интерактивной системы Noise Figure Measurement Wizard.

Noise Figure Measurement Wizard – это специализированное программное обеспечение, являющееся составной частью программной опции 006. Фактически оно представляет собой систему интерактивного диалога с оператором, которая, благодаря наличию развернутых подсказок и вспомогательных диаграмм, позволяет провести пользователя через всю последовательность операций, связанных с конфигурированием параметров измерительного оборудования под конкретное устройство, калибровкой, непосредственным измерением и, наконец, расчетом остаточной погрешности измерения. Данное программное обеспечение позволяет значительно снизить риск ошибок со стороны оператора и, в целом, сделать процесс измерения коэффициента шума более наглядным и интуитивно-понятным.

Рис. 93. Стартовое окно программы Noise Figure Measurement Wizard.



Для запуска программного обеспечения **Noise Figure Measurement Wizard** (далее сокращенно **Wizard**), необходимо нажать кнопку **MEAS** на передней панели прибора, затем программную клавишу **Power** и в появившемся программном меню, связанном с автоматическими амплитудными измерениями, программную клавишу **Noise Figure**. После этого появится стартовое диалоговое окно программы **Wizard**, показанное на рисунке 93. В стартовом диалоговом окне пользователь может продолжить процедуру конфигурирования измерения коэффициента шума при помощи данной вспомогательной программы, нажав программную клавишу **PROCEED WITH THE WIZARD**, либо может выйти из данной программы, нажав программную клавишу **SKIP THE WIZARD**. Следует отметить, что измерение коэффициента шума и коэффициента передачи усилителя опытным оператором может быть сконфигурировано и проведено без использования программы **Wizard**. Однако без использования данной программы невозможно выполнить расчет остаточной неопределенности измерения коэффициента шума. Также без использования данной программы невозможно выполнить измерение коэффициента шума и коэффициента передачи устройств с переносом частоты.

После нажатия на программную клавишу **PROCEED WITH THE WIZARD** появляется окно, показанное на рисунке 94. Здесь оператору предлагается выбрать тип объекта измерения: усилитель (в этом случае должна быть нажата программная клавиша **AMPLIFIER**) или конвертор (в этом случае должна быть нажата программная клавиша **CONVERTER**). В данном разделе далее будут подробно рассмотрены все операции, связанные со структурной веткой **AMPLIFIER**, другими словами, с измерением коэффициента шума усилителей.

Рис. 94. Окно выбора типа объекта измерения.

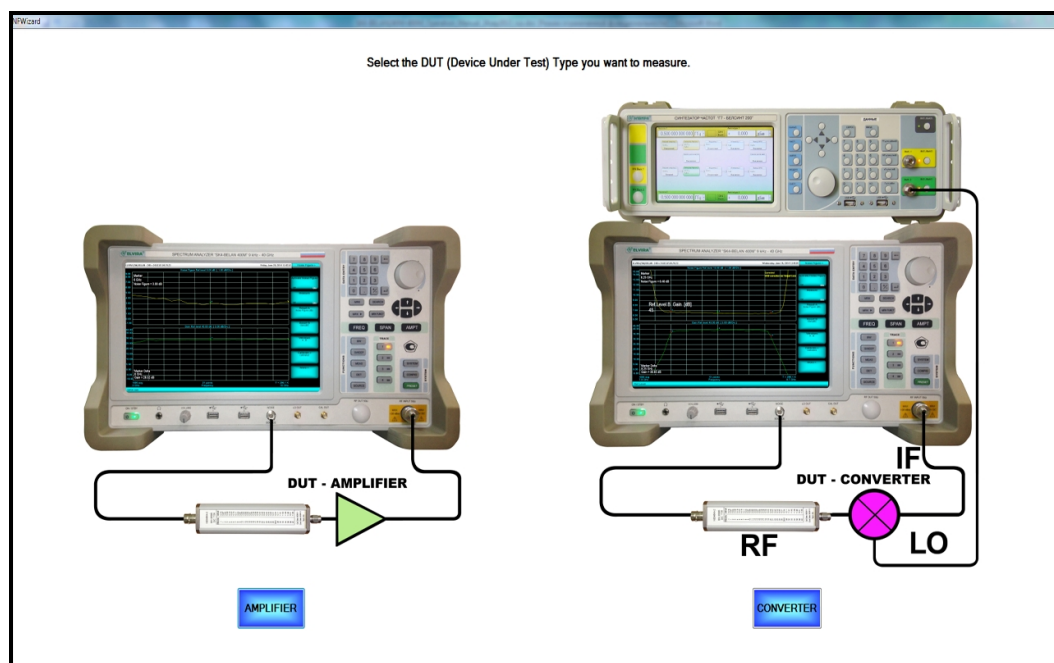
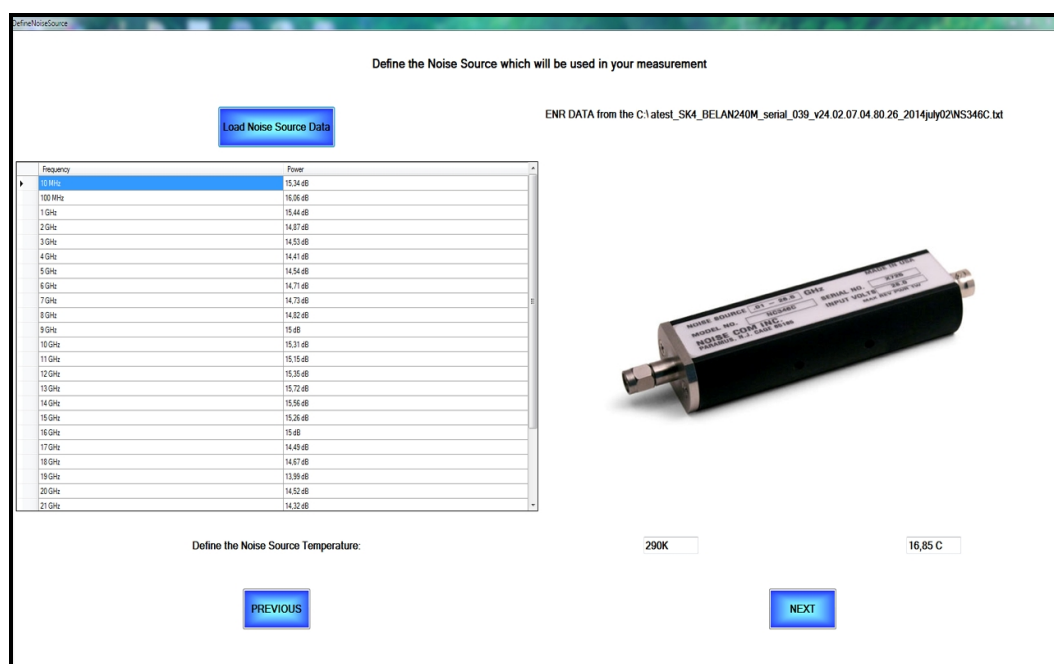


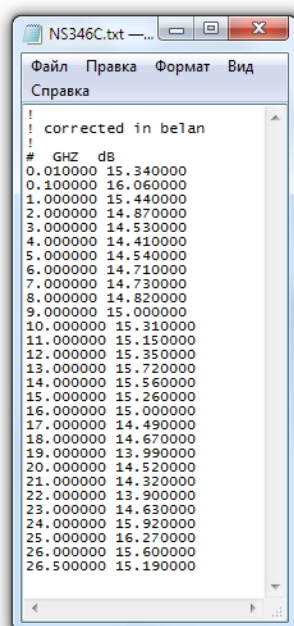
Рис. 95. Окно определения параметров используемого генератора шума.



После нажатия на программную клавишу **AMPLIFIER** появляется диалоговое окно, показанное на рисунке 95. В этом диалоговом окне пользователю предлагается определить параметры используемого генератора шума: эффективное значение температуры «холодного» источника шума T_{COLD} (в Кельвинах или градусах Цельсия), а также зависимость его ИОШТ (ENR) от частоты. Если пользователь при заказе анализатора спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с опциями 005, 006, 052/054/055 также заказывал источник шума, то с этим источником поставляется съемный USB накопитель информации (флэшка) с данными ИОШТ (ENR) на заказанный источник шума. Для загрузки этих данных в анализатор необходимо вставить флэшку

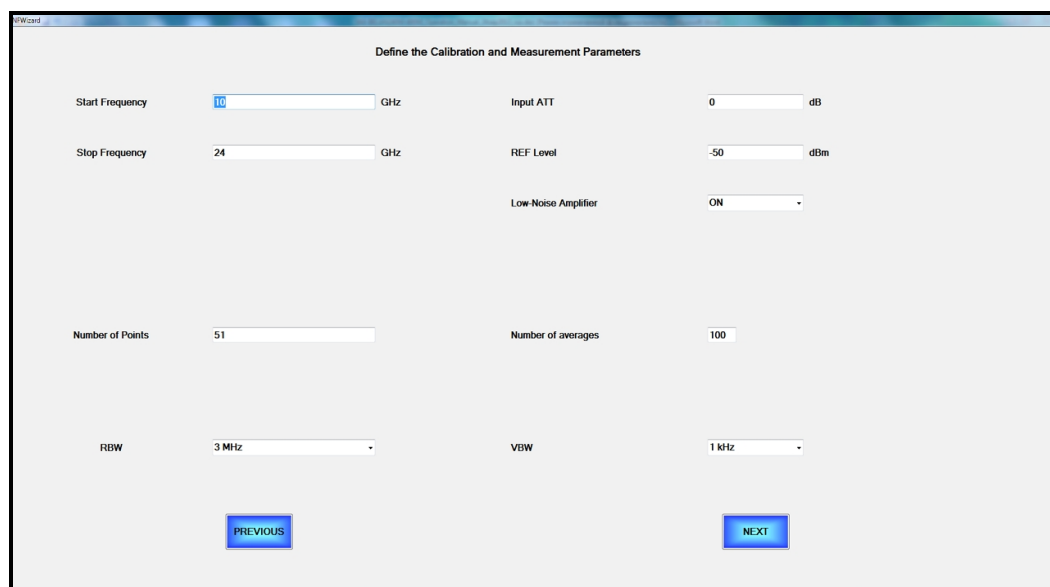
в один из USB-слотов на передней панели прибора, нажать программную клавишу **Load Noise Source Data** и через стандартную процедуру открытия файлов Windows загрузить требуемый файл (например, NS346C.txt). В результате загрузки данных ИОШТ источника шума на экране появится таблица (см. рисунок 95), по которой пользователь сможет проконтролировать правильность загруженных данных, сравнив их с теми, что выгравированы производителем на задней панели используемого генератора шума. Если оператор использует свой генератор шума, то ему необходимо самостоятельно создать файл с частотной зависимостью ИОШТ для данного генератора. Правильный формат записи данных ИОШТ такого файла показан на рисунке 96. Для перехода в следующее окно программы **Wizard** необходимо нажать программную клавишу **NEXT**, для возврата к выбору типа объекта измерения необходимо нажать программную клавишу **PREVIOUS**.

Рис. 96. Формат записи частотной зависимости ИОШТ используемого генератора шума.



#	GHz	dB
0.010000	15.340000	
0.100000	16.060000	
1.000000	15.440000	
2.000000	14.870000	
3.000000	14.530000	
4.000000	14.410000	
5.000000	14.540000	
6.000000	14.710000	
7.000000	14.730000	
8.000000	14.820000	
9.000000	15.000000	
10.000000	15.310000	
11.000000	15.150000	
12.000000	15.350000	
13.000000	15.720000	
14.000000	15.560000	
15.000000	15.260000	
16.000000	15.000000	
17.000000	14.490000	
18.000000	14.670000	
19.000000	13.990000	
20.000000	14.520000	
21.000000	14.320000	
22.000000	13.900000	
23.000000	14.630000	
24.000000	15.920000	
25.000000	16.270000	
26.000000	15.600000	
26.500000	15.190000	

Рис. 97. Окно определения параметров анализатора спектра для калибровки и измерения КШ.



Define the Calibration and Measurement Parameters

Start Frequency	10	GHz	Input ATT	0	dB
Stop Frequency	24	GHz	REF Level	-50	dBm
			Low Noise Amplifier	ON	
Number of Points	51		Number of averages	100	
RBW	3 MHz		VBW	1 kHz	

PREVIOUS NEXT

Следующее диалоговое окно (см. рисунок 97) является очень важным, поскольку в нем оператору предлагается задать основные параметры анализатора спектра, которые будут использоваться при проведении калибровки и измерения. Это начальная и конечная частота измерения, значение ослабления входного аттенюатора, значение опорного уровня, состояние входного малошумящего усилителя, количество точек измерения, количество усреднений, полоса пропускания, полоса видео фильтра. При наведении мыши на поле ввода (или нажатии на соответствующую область сенсорного экрана) для каждого редактируемого параметра автоматически появляется развернутая подсказка, содержащая важные сведения теоретического и практического характера. На рисунке 98 для каждой подсказки дан перевод.

Рис. 98. Перевод подсказок, выпадающих для ключевых параметров настройки анализатора.

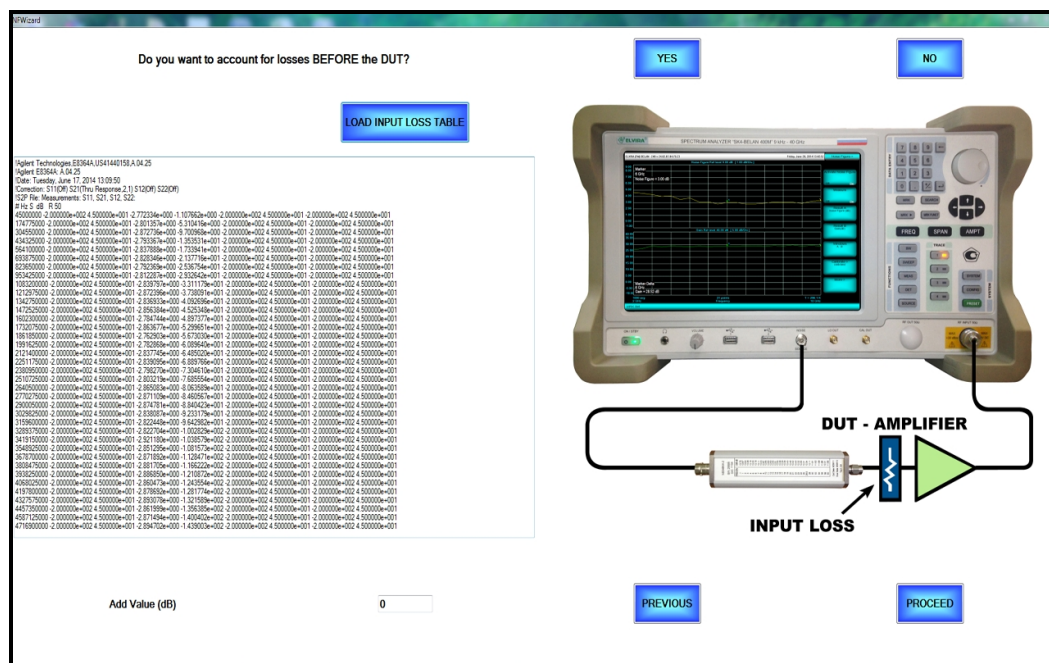
Start Frequency 10 GHz Select the start frequency for your noise figure calibration and measurement. The start frequency value must be ≤ 10 MHz.	Выберите начальную частоту для калибровки и измерения КШ. Начальная частота должна быть ≥ 10 МГц.
Stop Frequency 24 GHz Select the stop frequency for your noise figure calibration and measurement. The stop frequency value is ≤ 24 GHz.	Выберите конечную частоту для калибровки и измерения КШ. Конечная частота должна быть ≤ 24 ГГц. Примечание: доступная верхняя граничная частота определяется прибором автоматически, исходя из установленных опций, и может составлять 3 ГГц, 24 ГГц, 40 ГГц и 50 ГГц.
Number of Points 51 Select the number of frequency points where the noise figure and gain are measured. Increasing the number of points provides more trace details but slows down the measurement speed.	Выберите количество точек, в которых будет производиться измерение коэффициента шума и коэффициента передачи. Увеличение количества точек улучшит детализацию измерительной трассы, но снизит скорость измерения.
RBW 3 MHz Select the resolution bandwidth of your measurement. Note: you should narrow the RBW only if your DUT bandwidth is smaller or comparable to the currently used RBW. In the cases where the DUT bandwidth $>>$ RBW, the maximum RBW (3MHz) must be used.	Выберите значение полосы пропускания для измерения. Обратите внимание, что сужать ФПЧ следует только в том случае, если полоса частот объекта измерения меньше или сравнима с текущим значением ФПЧ. В случаях, когда полоса объекта измерения $>>$ ФПЧ, следует использовать максимальное значение полосы пропускания (3 МГц).
Input ATT 0 dB Input attenuator must be switched OFF (0 dB value) during the noise figure measurement. Otherwise erroneous results will be obtained.	Необходимо установить значение ослабления входного аттенюатора 0 дБ. В противном случае, результаты измерения окажутся ошибочными.
REF Level -50 dBm Select the spectrum analyzer reference level for the noise figure measurement. The reference level setting defines the gain of the variable IF amplifier and is the level which should not be exceeded during the measurement. Otherwise it will cause analyzer IF overload. Your DUT NF + Gain product must be lower than REF Level - DANL.	Установите значение опорного уровня анализатора спектра для измерения. Значение опорного уровня определяет усиление в тракте ПЧ и фактически задает максимальный уровень, который нельзя превышать в ходе измерения. В противном случае произойдет перегрузка в тракте ПЧ анализатора. Сумма значений ожидаемого коэффициента шума и усиления в децибелах должна быть меньше, чем разность между опорным уровнем и шумовой дорожкой анализатора при используемом ФПЧ.
Low-Noise ON Low Noise Amplifier must be switched ON during the noise figure measurement. Otherwise erroneous results will be obtained. Your analyzer has a built-in LNA from 10 MHz to 24 GHz.	Входной малошумящий усилитель во время измерения должен быть включен. В противном случае, результаты измерения окажутся ошибочными. В вашем анализаторе установлен МШУ с диапазоном частот от 10 МГц до 24 ГГц. Примечание: доступная верхняя граничная частота МШУ определяется прибором автоматически, исходя из установленных опций, и может составлять 3 ГГц, 24 ГГц, 40 ГГц и 50 ГГц.
Number of averages 100 Select the number of average readings performed in each measurement point. Note that the larger number of average readings decreases the initial trace dispersion by a factor of $\sqrt{N}$.	Установите количество усреднений в каждой точке измерительной трассы. Обратите внимание, что шумовая дисперсия измерительной трассы снижается в $\sqrt{N}$, где N – количество усреднений. Рекомендуемое значение N = 100.
VBW 1 kHz Select the video filter bandwidth for your measurement. Note that decreasing the VBW by a factor of 10 is equal to increasing the number of averages by the same factor.	Установите значение видео фильтра. Обратите внимание, что сужение фильтра видео в 10 раз эквивалентно увеличению количества усреднений в 10 раз.

После того как все параметры настройки анализатора для проведения калибровки и измерения введены, следует нажать на программную клавишу **NEXT**. Для возврата в окно определения параметров ГШ, следует нажать **PREVIOUS**.

В следующем окне программы (см. рисунок 99) оператору предлагается учесть потери на входе объекта измерения. Под потерями на входе объекта измерения понимаются любые согласующие цепи (аттенюаторы или вентили), частотно-избирательные цепи (фильтры), элементы коаксиального тракта (переходы, кабельные сборки), имеющие существенное вносимое ослабление, которые не позволяют передать на вход объекта измерения полную «горячую» мощность ГШ и, таким образом, искажают

номинальное значение ИОШТ ГШ. Если потерь на входе объекта измерения нет или они пренебрежительно малы (величина ослабления менее 0.05 дБ), нужно нажать программные клавиши **NO** и **PROCEED** для перехода в следующее окно программы. При нажатии на программную клавишу **YES** появится подсказка о том, что потери на входе тестируемого устройства – это те цепи согласования и элементы коаксиального тракта, которые при измерении располагаются между ГШ и объектом измерения. Они не включаются в тракт при калибровке и учитываются математически. Есть два способа определения потерь на входе объекта измерения: при помощи фиксированного значения и при помощи S2P-файла. Если пользователь хочет определить входные потери как некоторое фиксированное значение ослабления (это значение будет использовано для всей полосы частот измерения), он просто вводит нужное число в поле **Add Value** (без знака «минус»). Для определения частотно-зависимой характеристики используемой согласующей цепи необходимо загрузить соответствующий S2P-файл. Если такой файл с S-параметрами согласующей цепи имеется (получен в результате измерения на векторном анализаторе цепей), он загружается через стандартную процедуру Windows, вызываемую при помощи программной клавиши **LOAD INPUT LOSS TABLE**. Следует отметить, что разные производители векторных анализаторов цепей могут использовать несколько отличающиеся форматы записи S2P-файлов. Так, например, Anritsu записывает S-параметры в виде реальной и мнимой составляющих, в то время как Keysight (Agilent) делает это традиционным способом (в децибелах и градусах). Для программы **Wizard** эти различия не имеют значения: она автоматически получит данные |S21| из любого S2P-файла и осуществит их корректную интерполяцию в соответствии с установленным количеством точек измерения коэффициента шума. Результат успешной загрузки S2P-файла показан на рисунке 99. После загрузки S2P-файла с S-параметрами согласующей цепи следует нажать программную клавишу **PROCEED**. Если в окне учета входных потерь была нажата клавиша **YES**, но при этом S2P-файл загружен не был, и также не было введено фиксированное значение ослабления, то клавиша **PROCEED** будет автоматически заблокирована. Она не станет активной до тех пор, пока не будут введены нужные данные, или пока необходимость их ввода не будет отменена нажатием клавиши **NO**.

Рис. 99. Окно учета потерь на входе объекта измерения.



В следующем диалоговом окне (см. рисунок 100) пользователю предлагается определить, нужно ли учесть в процессе измерения потери на выходе тестируемого устройства. При нажатии на программную клавишу **YES** появится подсказка о том, что потери на выходе тестируемого устройства должны учитываться математически только тогда, когда выходная согласующая цепь по каким-либо причинам не может быть включена в тракт калибровки (между выходом ГШ и входом анализатора). Например, данная цепь физически является частью объекта измерения, а пользователь хочет увидеть характеристику объекта, свободную от ее влияния. В остальных случаях потери на выходе объекта измерения математически характеризовать нецелесообразно - согласующая цепь учитывается методом ее непосредственного включения в тракт при калибровке. Таким образом, наиболее частым выбором для данного окна будет нажатие программных клавиш **NO** и **PROCEED**. Если все же необходимо учесть выходные потери, то

программа **Wizard** предлагает уже описанные выше два способа их определения: при помощи фиксированного значения или при помощи S2P-файла. Загрузка данных осуществляется тем же способом, который был описан для потерь входа. Клавиша **PROCEED** позволяет перейти в окно калькулятора остаточной неопределенности измерения. Клавиша **PREVIOUS** возвращает в окно учета потерь входа.

В окне калькулятора остаточной неопределенности измерения, изображенном на рисунке 101, оператору предлагается принять решение, будет ли рассчитываться и отображаться при последующем измерении остаточная неопределенность измерения. Если отображение остаточной неопределенности измерения не требуется, следует нажать программные клавиши **NO** и **PROCEED**. В обратном случае необходимо нажать программную клавишу **YES**. Ее нажатие разблокирует все остальные программные клавиши, отвечающие за ввод данных, относящихся к составляющим неопределенности.

Рис. 100. Окно учета потерь на выходе объекта измерения.

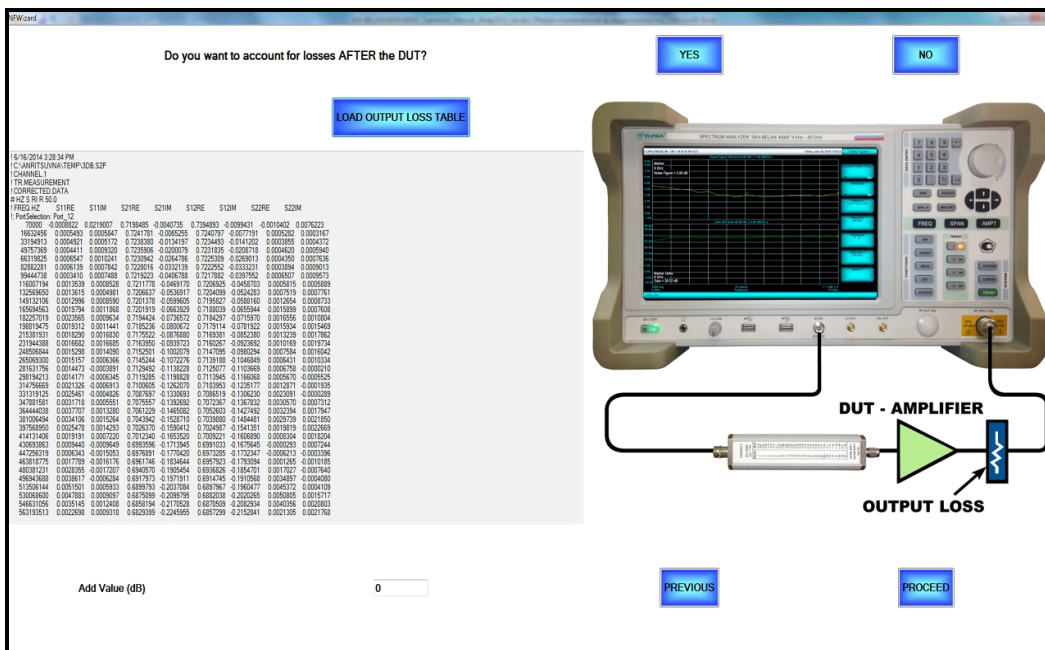
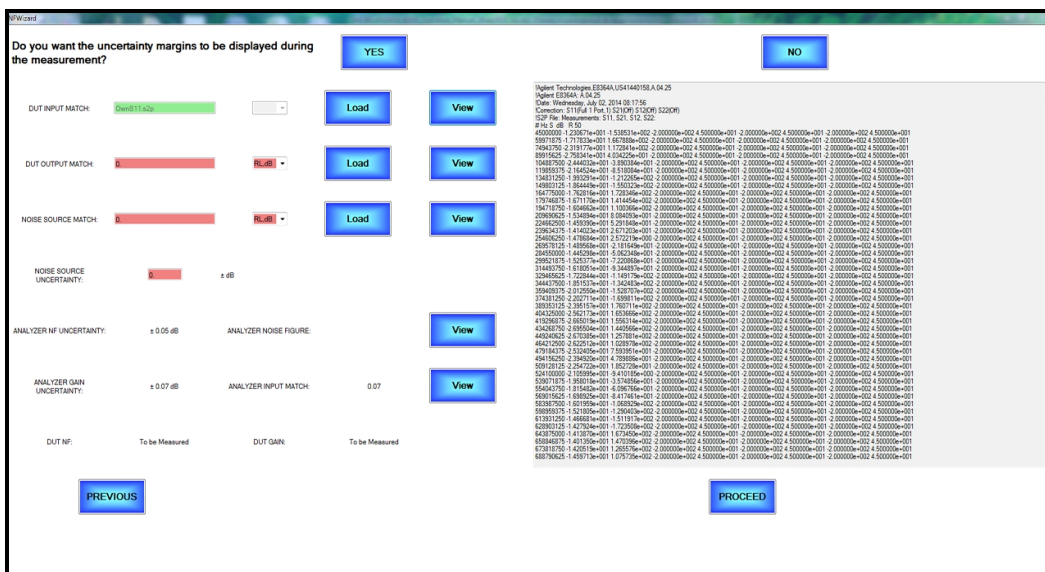


Рис. 101. Окно калькулятора остаточной неопределенности результата измерения.



При расчете остаточной неопределенности результата измерения коэффициента шума используется метод статистического анализа основных составляющих погрешности измерения с применением критерия достоверности 2σ (вероятность 95%). Этот подход основан на том, что при совместном действии нескольких независимых случайных погрешностей, результирующая погрешность имеет Гауссово (нормальное) распределение вероятности. Для расчета стандартного отклонения (СКО) σ используется следующая формула:

$$\delta NF_1 = \sqrt{\left(\frac{F_{12}}{F_1} \delta NF_{12}\right)^2 + \left(\frac{F_2}{F_1 G_1} \delta NF_2\right)^2 + \left(\frac{F_2 - 1}{F_1 G_1} \delta G_{1,dB}\right)^2 + S \left(\left(\frac{F_{12}}{F_1} - \frac{F_2}{F_1 G_1}\right) \delta ENR_{dB}\right)^2} \quad (2.32.23)$$

где:

δNF_1 – погрешность измерения коэффициента шума тестируемого устройства (ТУ), дБ;

δNF_{12} – погрешность измерения коэффициента шума ТУ и измерителя как двухкаскадной системы, дБ;

δNF_2 – погрешность определения коэффициента шума измерителя, дБ;

δG_1 – погрешность определения коэффициента передачи ТУ, дБ;

δENR_{dB} – погрешность нормировки ИОШТ ГШ, дБ;

S – специальный коэффициент (равен 0 для усилителя, равен 1 для конвертора);

Величина каждой из парциальных составляющих погрешности δNF_{12} , δNF_2 , δG_1 в свою очередь определяется как RSS (Root Sum Square - квадратный корень из суммы квадратов) из инструментальной погрешности измерения коэффициента шума / усиления измерителя, нормируемой производителем, и параметров рассогласования (между ГШ и ТУ, между ГШ и измерителем, между ТУ и измерителем), заданных оператором.

Таким образом, для расчета величин составляющих неопределенности измерения необходимо два вида данных: (1) данные, относящиеся к измерительному оборудованию (анализатору спектра и ГШ), (2) данные, относящиеся к тестируемому устройству (ТУ). Данные, относящиеся к измерительному оборудованию, это: выходное согласование используемого ГШ (NOISE SOURCE MATCH), погрешность нормировки ИОШТ δENR_{dB} используемого ГШ (NOISE SOURCE UNCERTAINTY), инструментальная погрешность измерения КШ анализатором (ANALYZER NF UNCERTAINTY), инструментальная погрешность измерения КП анализатором (ANALYZER GAIN UNCERTAINTY), собственный коэффициент шума анализатора спектра (ANALYZER NOISE FIGURE), согласование по входу анализатора спектра (ANALYZER INPUT MATCH). Данные, относящиеся к тестируемому устройству, это: согласование по входу ТУ (DUT INPUT MATCH), согласование по выходу ТУ (DUT OUTPUT MATCH), коэффициент шума ТУ (DUT NOISE FIGURE), коэффициент передачи ТУ (DUT GAIN). При наведении мыши на соответствующее обозначение данных (или нажатии на соответствующую область сенсорного экрана) будут появляться развернутые подсказки. Перевод подсказок, относящихся к данным для расчета составляющих погрешности измерения, дан на рисунке 102.

Как поясняется в подсказках, приведенных на рисунке 102, данные, относящиеся к анализатору спектра, записываются производителем анализатора спектра. Пользователь может просмотреть используемые файлы, характеризующие S11 входа анализатора спектра и собственный коэффициент шума анализатора спектра, при помощи программных клавиш **VIEW**. Коэффициенты шума и передачи тестируемого устройства определяются в процессе измерения. Данные, относящиеся к ГШ и тестируемому устройству, вводятся пользователем. Пользователь должен определить остаточную погрешность нормировки ИОШТ ГШ (в соответствии со спецификацией производителя ГШ), а также согласование по выходу ГШ и входу/выходу объекта измерения. Параметры согласования могут быть заданы пользователем одним значением (как наихудшее возможное значение S11/S22 для всех частот измерения) или же определены S2P-файлом. Если для определения параметров согласования вводится фиксированное значение, то ввод может быть выполнен в любом удобном для оператора формате: в виде обратных потерь, коэффициента отражения в линейном виде, коэффициента стоячей волны по напряжению. Загрузка необходимого S2P-файла осуществляется при помощи стандартной процедуры Windows, которая запускается программной клавишей **LOAD**. Программа **Wizard** работает с любыми форматами записи S2P-файлов и автоматически считывает нужный S-параметр (S11 или S22). Оператор может просмотреть и проверить содержание загруженного файла при помощи клавиши **VIEW**. Если калькулятор неопределенности активирован нажатием клавиши **YES**, то до тех пор, пока не введены все необходимые данные, клавиша

PROCEED, позволяющая перейти к следующему диалоговому окну, будет заблокирована. Поля ввода данных, которые были успешно отредактированы, окрашиваются в зеленый цвет, незаполненные поля ввода, требующие редактирования, – в красный (см. рисунок 101).

Рис. 102. Перевод подсказок, выпадающих при вводе данных для расчета остаточной неопределенности измерения.

Do you want to enter the measurement data? Enter your DUT worst-case S11 (one maximum value for all test frequencies) or load its S11 s2p-file (frequency-dependent input match characteristic). If you are entering the worst case S11, you may enter it either as return loss in dB, or as a linear reflection coefficient or as a VSWR value. DUT INPUT MATCH: 0.0	Введите либо наихудшее значение S11 для объекта измерения (одно максимальное значение для всех частот измерения), либо загрузите S11 объекта измерения из S2P-файла (частотно-зависимую характеристику согласования по входу объекта). Если Вы вводите фиксированное число для определения худшего случая S11, Вы можете вводить его в формате обратных потерь (дБ), линейного коэффициента отражения или коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН).
Enter your DUT worst-case S22 (one maximum value for all test frequencies) or load its S22 s2p-file (frequency-dependent output match characteristic). If you are entering the worst case S22, you may enter it either as return loss in dB, or as a linear reflection coefficient or as a VSWR value. DUT OUTPUT MATCH: 0.0 RL dB	Введите либо наихудшее значение S22 для объекта измерения (одно максимальное значение для всех частот измерения), либо загрузите S22 объекта измерения из S2P-файла (частотно-зависимую характеристику согласования по выходу объекта). Если Вы вводите фиксированное число для определения худшего случая S22, Вы можете вводить его в формате обратных потерь (дБ), линейного коэффициента отражения или коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН).
Enter the worst-case S11 of the noise source (one maximum value for all test frequencies) or load its S11 s2p-file (frequency-dependent match characteristic). If you are entering the worst case S11, you may enter it either as return loss in dB, or as a linear reflection coefficient or as a VSWR value. NOISE SOURCE MATCH: 0.0 RL dB	Введите либо наихудшее значение S11 для используемого ГШ (одно максимальное значение для всех частот измерения), либо загрузите S11 ГШ из S2P-файла (частотно-зависимую характеристику согласования выхода ГШ). Если Вы вводите фиксированное число для определения худшего случая S11, Вы можете вводить его в формате обратных потерь (дБ), линейного коэффициента отражения или коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН).
The uncertainty of determining the ENR (excessive noise ratio) by the manufacturer of the noise source. A typical value of 0.2dB for commercially available noise sources. NOISE SOURCE UNCERTAINTY: 0.0 ± dB	Погрешность нормировки ИОШТ производителем ГШ. Для коммерчески доступных источников шума типичное значение погрешности составляет 0.2 дБ.
ANALYZER NF UNCERTAINTY: ± 0.05 dB This uncertainty is caused by the finite resolution of the analyzer level measuring capability. It is very low for modern spectrum analyzers using high resolution ADC's. The value is supplied by the spectrum analyzer manufacturer.	Инструментальная погрешность измерения коэффициента шума, обусловленная конечным вертикальным разрешением анализатора при измерении сигналов малого уровня. Для современных анализаторов спектра, использующих высокоразрядные АЦП, это величина, как правило, незначительна. Нормируется данная величина производителем анализатора спектра.
ANALYZER GAIN UNCERTAINTY: ± 0.07 dB This uncertainty is caused by the linearity error of the analyzer. The gain measurement in the Y-Factor method is actually a ratio of two measurements (with the DUT in place and without it) each of them being a relative level measurement (with a noise source in cold and hot states respectively). A relative level measurement is mainly affected by the instrument scale linearity which is very low for modern spectrum analyzers with an "all-digital IF" circuitry.	Инструментальная погрешность измерения коэффициента передачи, обусловленная линейностью вертикальной шкалы анализатора. Коэффициент передачи определяется фактически как отношение двух измерений, каждое из которых в отдельности представляет собой относительное измерение мощности. А относительные измерения уровня при фиксированных амплитудных настройках, главным образом, определяются линейностью логарифмической шкалы, которая очень высока у современных анализаторов спектра с системой цифровой обработки сигнала в тракте ПЧ.
ANALYZER NOISE FIGURE: ± 0.05 dB The frequency dependent noise figure characteristic of the spectrum analyzer. Data supplied by the spectrum analyzer manufacturer.	Частотно-зависимая характеристика коэффициента шума анализатора спектра. Данные, которые поставляются производителем анализатора спектра.
ANALYZER INPUT MATCH: 0.07 The frequency dependent S11 characteristic of the spectrum analyzer. Data supplied by the spectrum analyzer manufacturer.	Частотно-зависимая характеристика согласования по входу анализатора спектра. Данные, которые поставляются производителем анализатора спектра.
DUT NF: To be Measured The frequency dependent noise figure characteristic of the DUT which will be determined and applied by the uncertainty calculator during the measurement.	Частотно-зависимая характеристика коэффициента шума объекта измерения. Определяется и учитывается калькулятором в процессе измерения.
DUT GAIN: To be Measured The frequency dependent gain characteristic of the DUT which will be determined and applied by the uncertainty calculator during the measurement.	Частотно-зависимая характеристика коэффициента передачи объекта измерения. Определяется и учитывается калькулятором в процессе измерения.

В следующем диалоговом окне программы пользователю предлагается удостовериться в правильности сборки калибровочного тракта. Согласующие цепи и элементы коаксиального тракта, которые при измерении размещаются после тестируемого устройства, должны быть включены в калибровочный тракт между ГШ и входом анализатора спектра. Согласующие цепи и элементы коаксиального тракта, которые при измерении размещаются перед тестируемым устройством, должны быть исключены из калибровочного тракта (см. рисунок 103). Их влияние должно быть компенсировано математически, как описано выше. Если калибровочный тракт собран правильно - в соответствии с диаграммой, приведенной на рисунке 103, следует нажать программную клавишу **CALIBRATE**. Программа **Wizard** выполнит автоматическое конфигурирование аппаратных настроек анализатора согласно ранее введенным данным, запустит процедуру калибровки и режим стандартного отображения результатов измерения (см. рисунок 104).

Рис. 103. Окно проверки схемы калибровочного тракта.

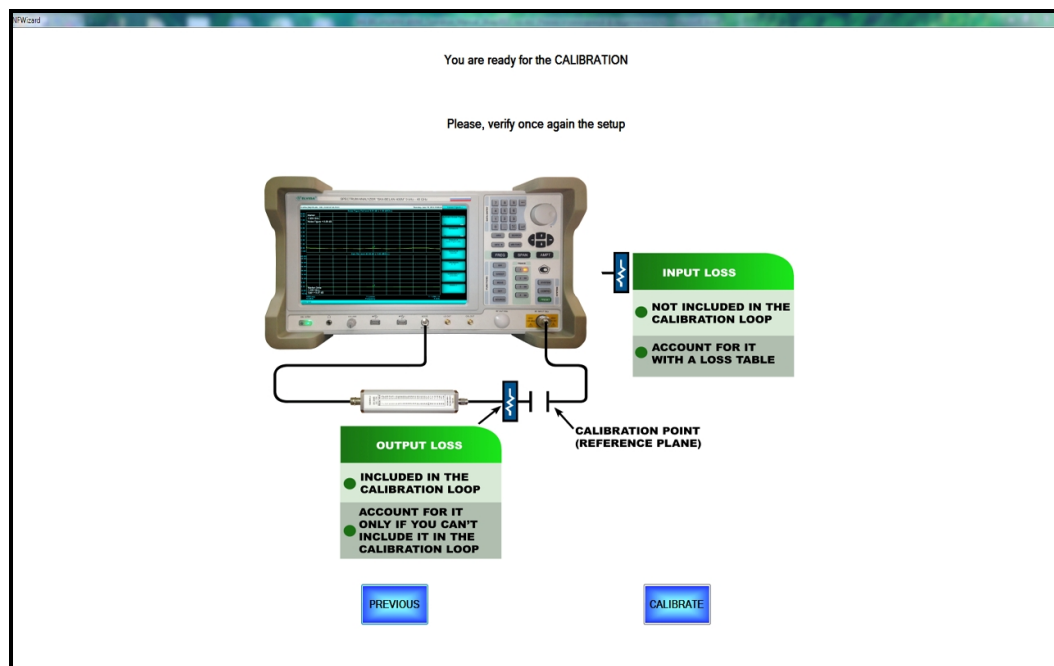
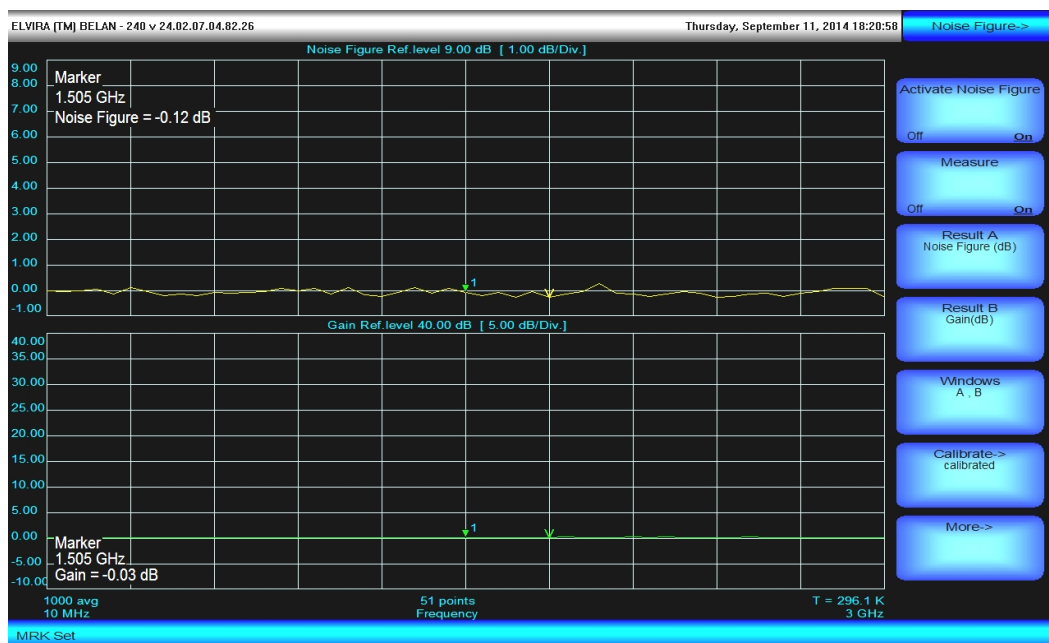


Рис. 104. Результат калибровки для измерения коэффициента шума.



Незначительные вариации графика коэффициента шума относительно нулевого значения непосредственно после калибровки (см. рисунок 104) являются нормальным явлением. Тем не менее, они могут вводить в заблуждение пользователей, привыкших работать со скалярными или векторными измерителями цепей, где после калибровки измерительная трасса обычно представляет собой практически идеальный ноль. Для понимания природы отклонения графика КШ от идеального нулевого значения сразу после калибровки необходимо вернуться к формуле Фрииса (2.32.11). Для простоты вычислений рассмотрим измеритель с собственным коэффициентом шума 10 дБ (10 раз). Тогда по формуле Фрииса, непосредственно после калибровки, коэффициент шума системы равен:

$$F_1 = F_{12} - (F_2 - 1)/G_1 = 10 - (10 - 1)/1 = 1 \text{ раз}$$

$$NF_{1,dB} = 10 \cdot \log_{10} F_1 = 0 \text{ дБ}$$

А теперь введем в измерение коэффициента передачи G_1 ошибку в 0.02 дБ, которая, на первый взгляд, является совершенно незначительной. Тогда:

$$G_1 = 10^{(0.02/10)} = 1.004616 \text{ раз}$$

$$F_1 = 10 - (10 - 1)/1.004616 = 1.041353 \text{ раз}$$

$$NF_{1,dB} = 10 \cdot \log_{10}(1.041353) = 0.176 \text{ дБ}$$

Таким образом, казалось бы, можно сделать вывод, что совершенно незначительная ошибка в измерении коэффициента передачи (0.02 дБ) ведет к существенно большей ошибке в измерении коэффициента шума (0.176 дБ). На самом деле при измерении коэффициента шума реального тестируемого устройства ситуация кардинально меняется в лучшую сторону. Рассмотрим объект измерения с коэффициентом шума 1 дБ и коэффициентом передачи 17 дБ.

$$1 \text{ дБ } NF_{1,dB} = 10^{(1/10)} = F_1 = 1.2589 \text{ раз}$$

$$17 \text{ дБ } G_{1,dB} = 10^{(17/10)} = G_1 = 50.1187 \text{ раз}$$

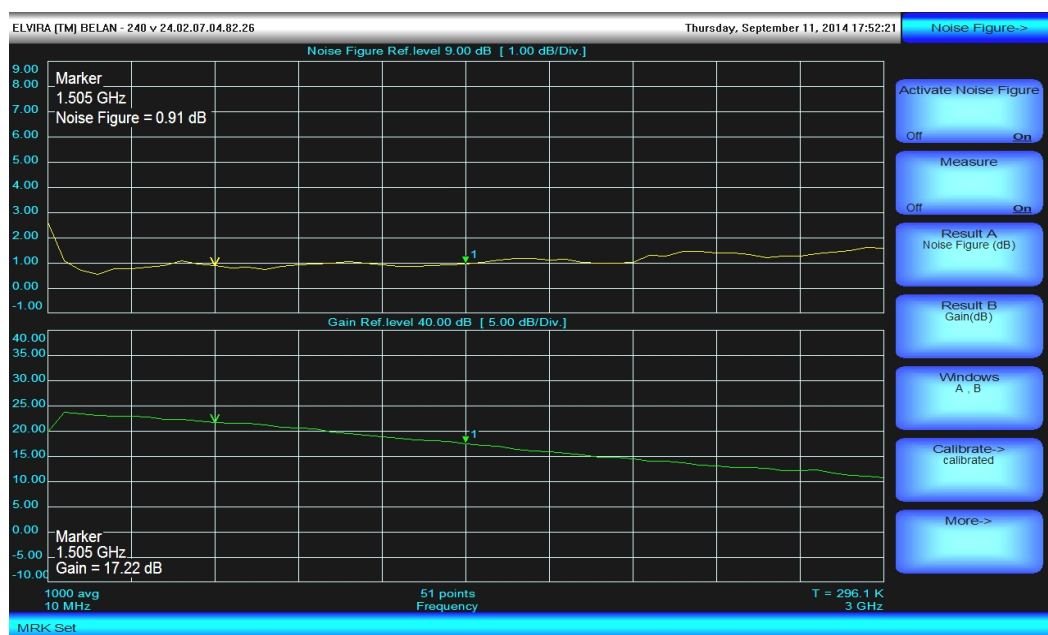
$$F_{12} = 1.2589 + (10 - 1)/50.1187 = 1.438474 \text{ раз}$$

При введении ошибки в 0.02 дБ в значение коэффициента усиления, получаем:

$$F_1 = 1.438474 - (10 - 1)/50.1187 \cdot 1.004616 = 1.2581 \text{ раз}$$

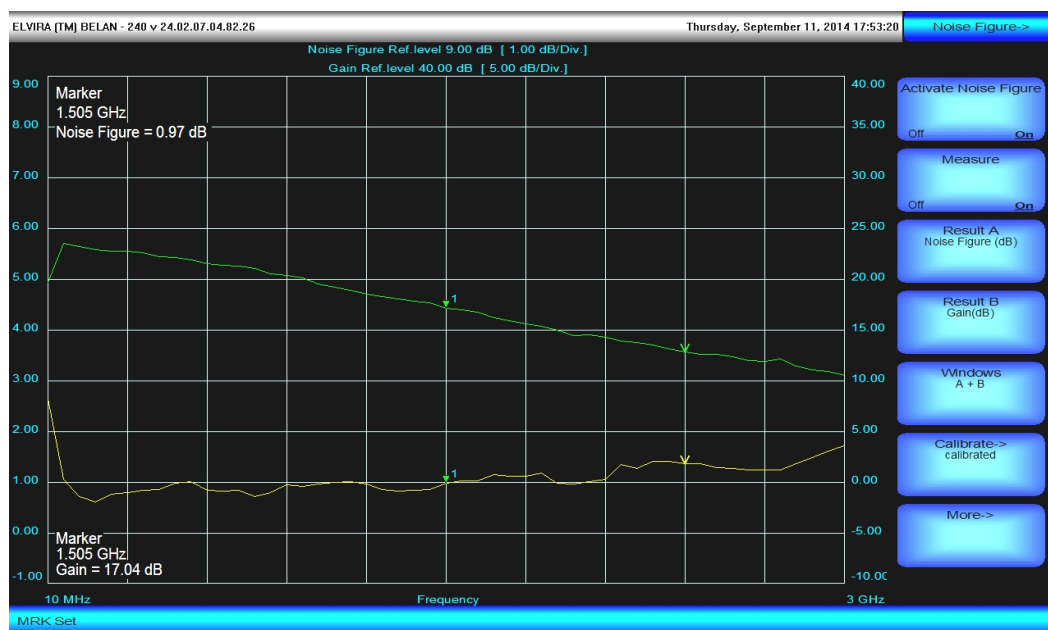
$$NF_{1,dB} = 10 \cdot \log_{10}(1.2581) = 0.9972 \text{ дБ}$$

Рис. 105. Результат измерения КШ и КП усилителя Avago MGA-62563.



Таким образом, для реального объекта измерения ошибка в измерении коэффициента шума, обусловленная дополнительной ошибкой измерения коэффициента передачи в 0.02 дБ, составила всего - 0.0028 дБ. Аналитически можно показать, что увеличение коэффициента передачи объекта измерения на каждые 10 дБ, приводит к снижению ошибки измерения КШ примерно на порядок. Менее чувствительными к вариациям измерения КП сразу после калибровки оказываются измерители с меньшим собственным коэффициентом шума. Если вспомнить, что, согласно формуле 2.32.21, измерение КП в методе Y-фактора, по сути, является отношением двух относительных измерений, то можно определить факторы, влияющие на стабильность измерения КП. Такими факторами являются: точность и стабильность измерителя применительно к относительным измерениям мощности, низкий собственный коэффициент шума измерителя, температурная стабильность измерителя и помещения, в котором происходит измерение, использование максимального количества усреднений при измерении, качество используемых коаксиальных соединителей.

Рис. 106. Режим наложения графиков A + B.



По отклонению измеренных графиков от идеальных калибровочных значений до включения объекта измерения в измерительный тракт можно косвенно судить о собственном коэффициенте шума, качестве и стабильности всей измерительной системы. Если сразу после проведения калибровки измеряемые без тестируемого устройства графики КШ и КП отклоняются от калибровочной прямой не более, чем на 0.5 дБ, это является индикатором высокой стабильности и низкого собственного КШ измерительной системы. В противном случае (при большем отклонении) может оказаться целесообразным произвести повторную калибровку с большим количеством усреднений и более узким фильтром видео. Если измерения проводятся на частотах выше 3 ГГц (в диапазоне перестраиваемого преселектора), могут возникать дополнительные ошибки измерения КП, обусловленные ухудшением собственного КШ измерителя и гистерезисом преселектора. В этом случае при проведении критических измерений можно рекомендовать использование дополнительного внешнего МШУ, выполнение более частых калибровок, а также замещение измерений в широкой полосе частот измерениями в узком диапазоне или в точке.

Далее на примере тестирования усилителя Avago MGA-62563 будут рассмотрены основные функциональные возможности и структура меню программного обеспечения по измерению коэффициента шума методом Y-фактора в «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М».

При измерении тестируемый усилитель включается в тракт в плоскости калибровки (см. рисунок 103). Если согласующих цепей по входу и выходу измеряемого усилителя не используется, то необходимо ГШ присоединять непосредственно ко входу усилителя, а выход усилителя – непосредственно ко входу анализатора. Если согласующие цепи по входу/выходу объекта измерения используются, следует применять только качественные коаксиальные переходы, вносящие минимальное рассогласование. При подаче необходимого питания на усилитель, характеристики его КШ и КП будут измерены и отображены анализатором спектра, как показано на рисунке 105.

Рис. 107. Режим одного окна – график А.

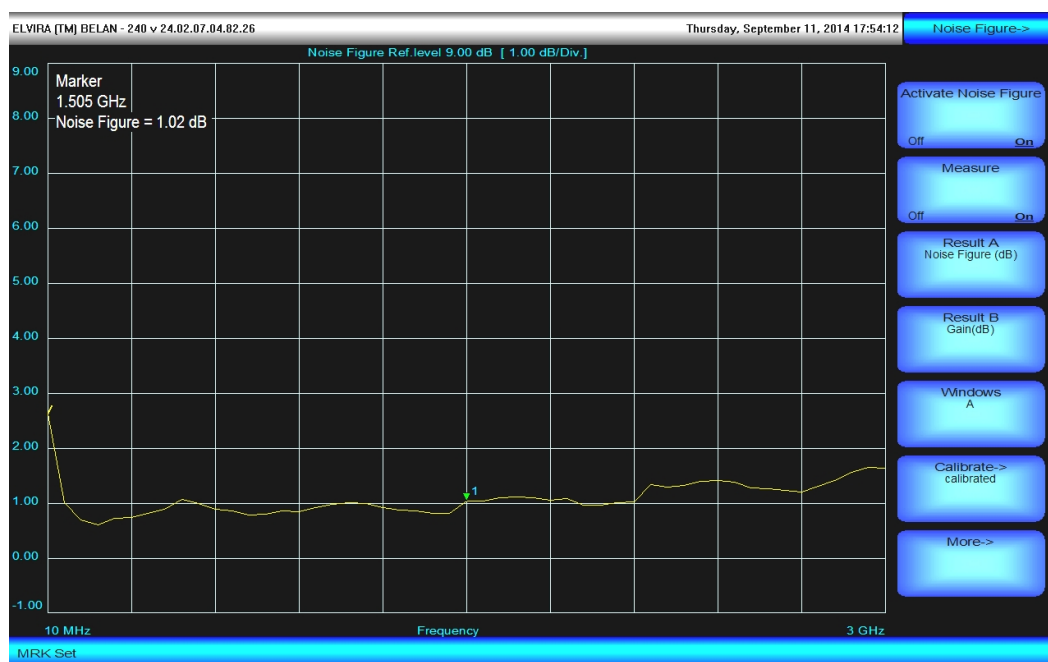
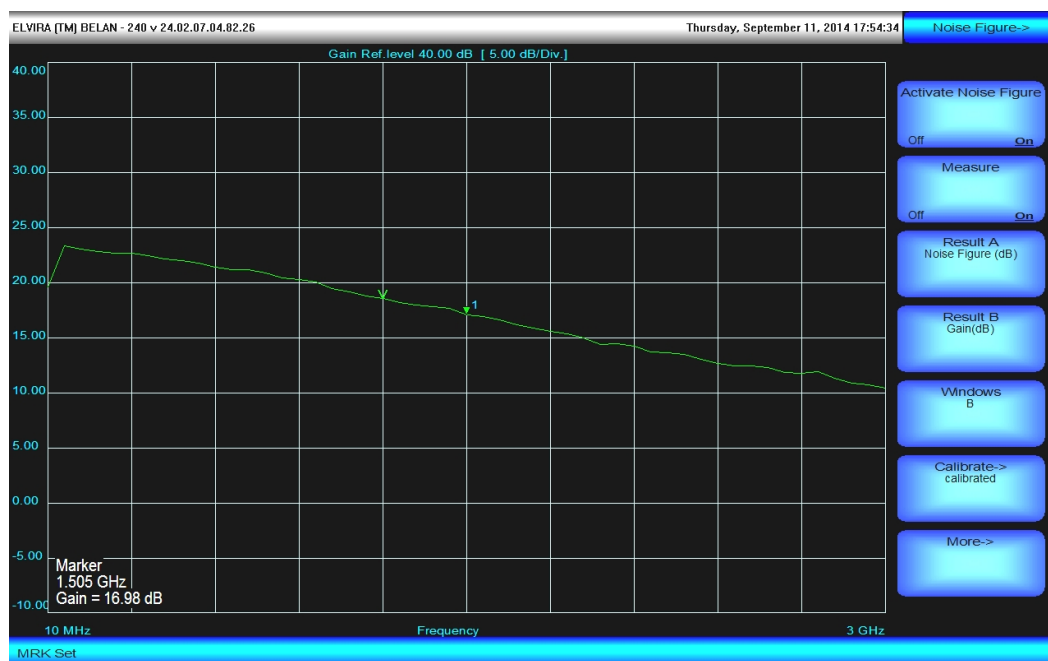


Рис. 108. Режим одного окна – график В.



Рассмотрим основные программные клавиши, входящие в состав программного меню измерения коэффициента шума. Программная клавиша **Activate Noise Figure** позволяет активировать и деактивировать режим измерения коэффициента шума. По умолчанию после завершения процесса конфигурирования измерения КШ в программе **Wizard** (а также в случае игнорирования программы **Wizard** пользователем) режим данной клавиши находится в положении **ON**. Используется данная клавиша, главным образом, для выхода из режима измерения коэффициента шума и перехода в стандартный режим анализатора спектра. Программная клавиша **Measure** позволяет запустить и остановить измерение (по умолчанию режим данной клавиши находится в положении **ON**, режим **OFF** будет означать отсутствие обновления измерительных трасс).

При помощи программной клавиши **Windows**, пользователь может изменять режим (конфигурацию) окон измерения. Используемая конфигурация окон отображается в программной клавише как текущее значение параметра. По умолчанию установлен режим двух отдельных окон (**A**, **B**). Также могут быть выбраны: режим **A+B** - наложения графиков (см. рисунок 106), режим отдельного окна **A** (рисунок 107) или отдельного окна **B** (рисунок 108) и режим табличного вывода **Table** (рисунок 109). Режимы будут меняться по кругу при каждом повторном нажатии на программную клавишу **Windows**. Если используется режим табличного вывода, то на экран одновременно выводится только 15 точек измерения. Если пользователем установлено большее количество точек измерения, то прокрутка таблицы (скроллинг по точкам измерения) осуществляется при помощи рукоятки плавной регулировки.

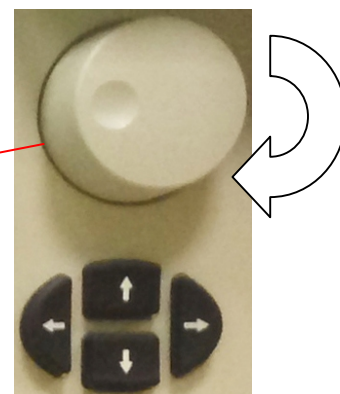
Рис. 109. Режим табличного вывода данных.

ELVIRA (TM) BELAN - 240 v 24.02.07.04.02.26 Thursday, September 11, 2014 17:55:00 Noise Figure->

#	Frequency [MHz]	Noise Figure [dB]	Gain [dB]
10	548.200000	0.87	21.68
11	608.000000	0.84	21.32
12	667.800000	0.86	21.11
13	727.600000	0.85	21.05
14	787.400000	0.77	20.80
15	847.200000	0.78	20.35
16	907.000000	0.84	20.16
17	966.800000	0.89	19.97
18	1026.600000	1.00	19.36
19	1086.400000	0.96	19.05
20	1146.200000	1.01	18.69
21	1206.000000	0.97	18.34
22	1265.800000	0.87	18.03
23	1325.600000	0.86	17.77
24	1385.400000	0.82	17.64

MRK Set

Buttons on the right: Activate Noise Figure (Off On), Measure (Off On), Result A Noise Figure (dB), Result B Gain (dB), Windows Table, Calibrate-> (calibrated), More->



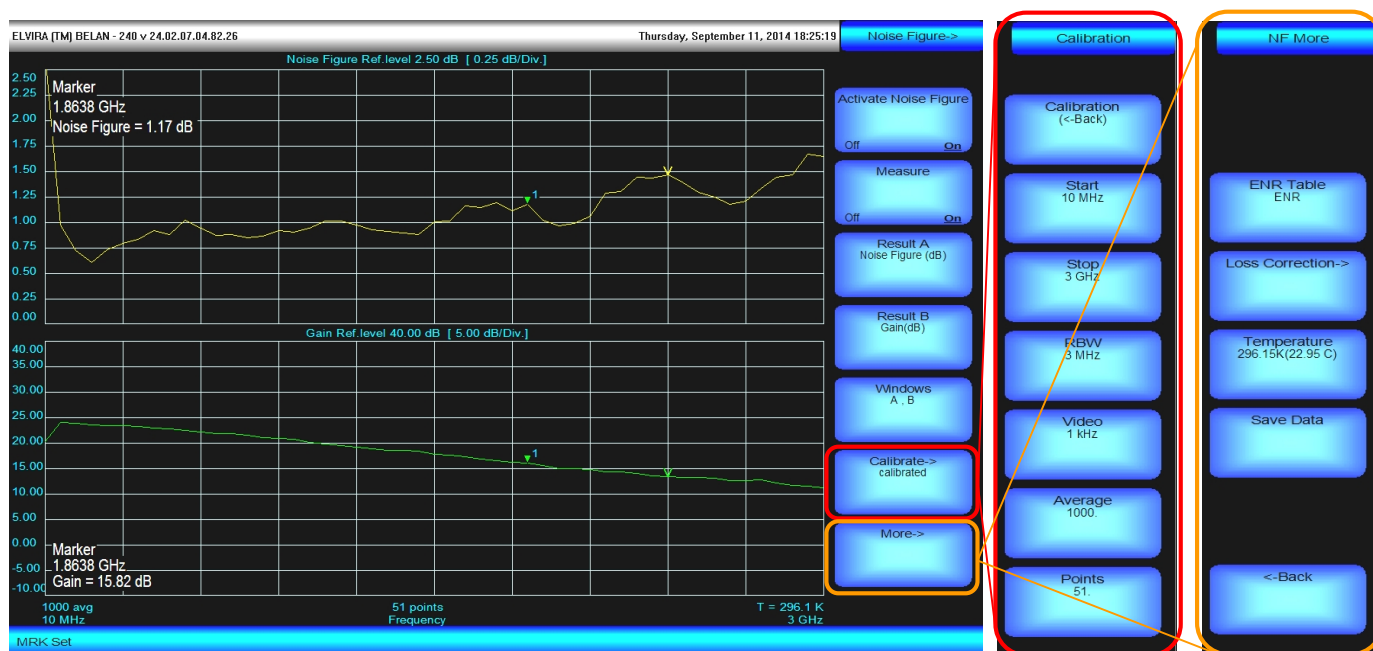
При нажатии на программную клавишу **Result A** будет открыто дополнительное меню, изображенное на рисунке 110 сверху. В этом меню пользователь может выбрать нужный формат представления данных для графика A (по умолчанию используется формат коэффициент шума в логарифмическом виде). При нажатии на программную клавишу **Result B** будет открыто дополнительное меню, изображенное на рисунке 110 снизу. В этом меню пользователь может выбрать нужный формат представления данных для графика B (по умолчанию используется формат коэффициент передачи в логарифмическом виде). Выбранный формат представления данных отображается в программных клавишах **Result A** и **Result B** как текущее значение параметра. Масштабирование графиков A и B на осях для лучшей визуализации результатов измерения осуществляется при помощи программной клавиши **Scale/Div.** (также см. рисунок 110). На рисунке 111 показан результат изменения масштаба графика **A** (коэффициент шума в логарифмическом виде) с 1 дБ/деление на 0.25 дБ/деление.

Программная клавиша **Calibrate ->** в основном меню КШ при тестировании усилителей позволяет произвести калибровку в обход программного обеспечения **Wizard** (или же проконтролировать настройки прибора, при которых калибровка последний раз выполнялась). Если прибор работает в режиме коррекции эффекта второго каскада, то в программной клавише **Calibrate->** в качестве текущего значения параметра будет отображаться надпись «calibrated». Состав программного меню калибровки КШ приведен на рисунке 111. Программные клавиши **Start** и **Stop** позволяют установить, соответственно, начальную и конечную частоты измерения. Программные клавиши **RBW** и **Video** позволяют определить значение полосы пропускания фильтра ПЧ и фильтра видео. Программная клавиша **Average** устанавливает количество усреднений, а программная клавиша **Points** – количество точек измерения. Используемые значения количества усреднений и точек выводятся как текущие значения параметра указанных программных клавиш. Программная клавиша **Calibration (<-Back)** запускает процедуру калибровки с установленными параметрами и автоматически возвращает пользователя в основное меню КШ.

Рис. 110. Форматы представления данных измерения для окон Result A и Result B.

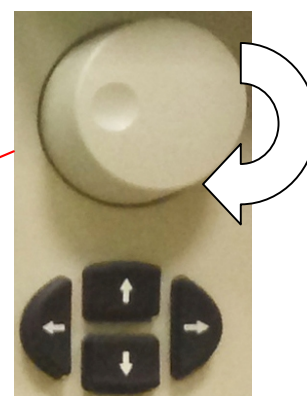
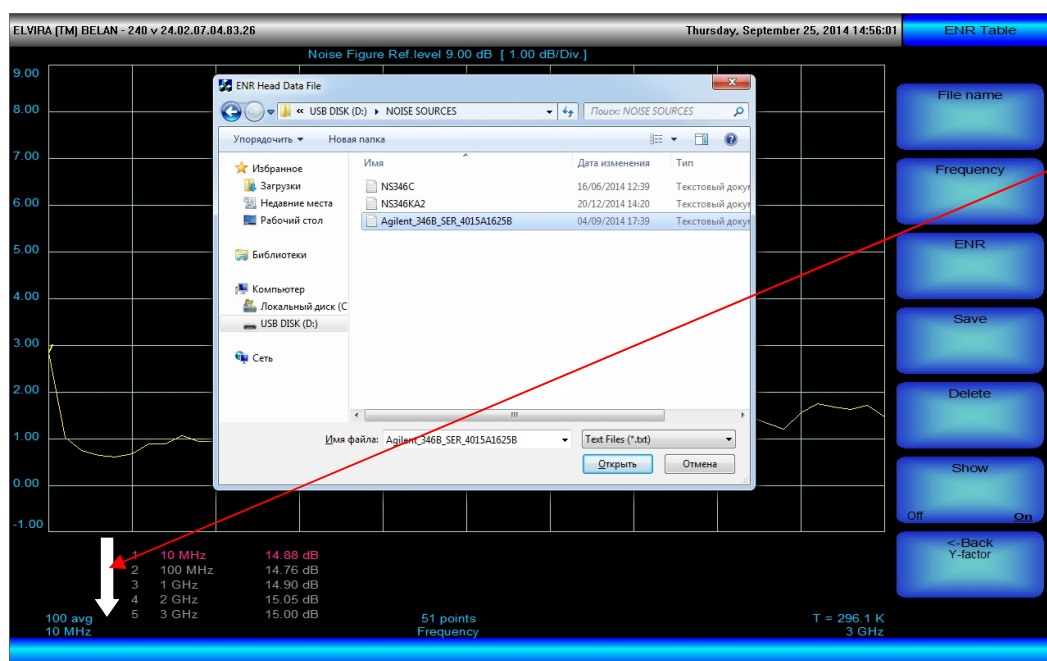
Noise Figure-> Activate Noise Figure Off On Measure Off On Result A Noise Figure (dB) Result B Gain(dB) Windows A , B Calibrate-> calibrated More->	Result A Noise Figure (dB) Noise Factor Y factor T effect P hot P cold Scale/Div.	Коэффициент шума в логарифмическом виде, дБ. Коэффициент шума в линейном виде, раз. Y-фактор в линейном виде, раз. Эффективная шумовая температура, К. Мощность шума при «горячем» ГШ, дБм Мощность шума при «холодном» ГШ, дБм Программная клавиша для перехода в дополнительное меню масштабирования графика A. Меню масштабирования графиков A и B одинаковое, но имеет независимые значения для графиков A и B.
Noise Figure-> Activate Noise Figure Off On Measure Off On Result A Noise Figure (dB) Result B Gain(dB) Windows A , B Calibrate-> calibrated More->	Результат B Gain(dB) Gain(ratio) Scale/Div.	Коэффициент передачи в логарифмическом виде, дБ. Коэффициент передачи в линейном виде, раз. Программная клавиша для перехода в дополнительное меню масштабирования графика B. Меню масштабирования графиков A и B одинаковое, но имеет независимые значения для графиков A и B. Autoscale off On Scale/Div. Ref. Level Smoothing No <-Back Автоматическое масштабирование графика. По умолчанию режим данной программной клавиши находится в положении Off. Программная клавиша, которая позволяет изменить значение деления вертикальной шкалы для окон A и B. Программная клавиша, которая позволяет задать значение верхней линии масштабной сетки для окон A и B. Программная клавиша, позволяющая ввести сглаживание данных (2%, 4%, 6% или 8%) при значительной дисперсии измерительной трассы. Программная клавиша, возвращающая пользователя в предыдущее меню.

Рис. 111. Результат измерения КШ в масштабе 0.25 дБ на деление. Меню калибровки КШ. Дополнительное меню КШ.



При нажатии на программную клавишу **More->** появляется дополнительное меню КШ, также изображенное на рисунке 111. В этом меню пользователь может выполнить ряд важных действий: проверить (и, при необходимости, загрузить) используемую таблицу значений ИОШТ источника шума, проверить и загрузить таблицу потерь на входе (выходе) объекта измерения, изменить используемое значение физической температуры «холодного» источника, сохранить измеренные данные для последующей обработки и анализа.

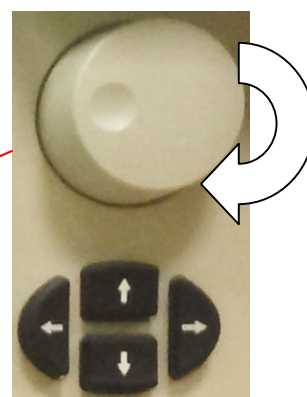
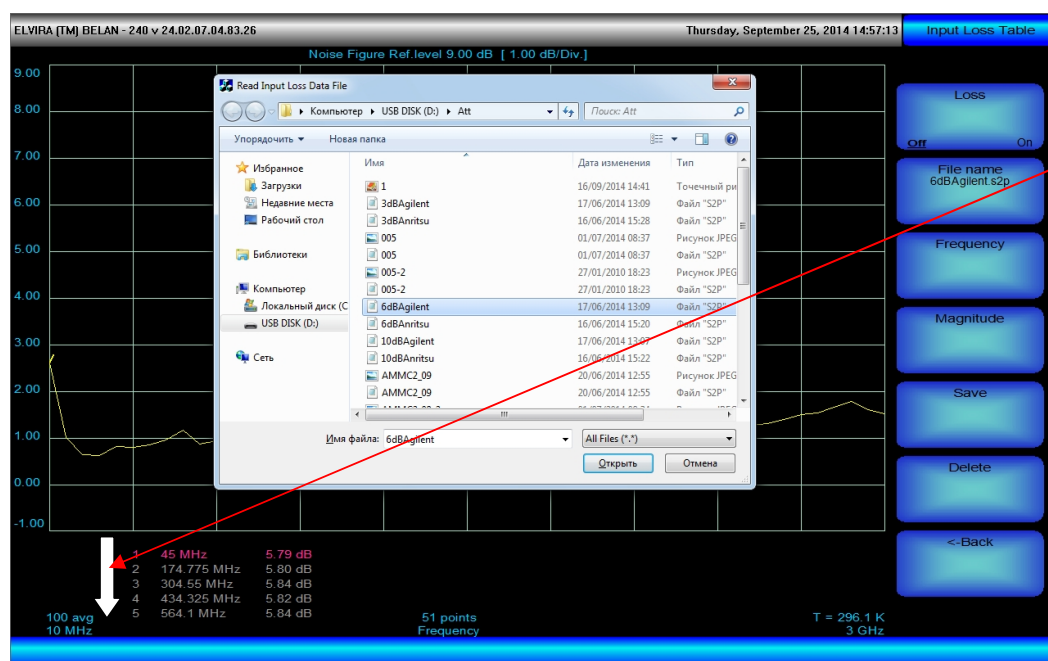
Рис. 112. Состав меню программной клавиши ENR Table. Процедура загрузки таблицы ИОШТ.



При нажатии на программную клавишу **ENR Table** (см. рисунок 111) пользователь попадает в меню, приведенное на рисунке 112. В этом меню пользователь может осуществить ручной ввод (редактирование)

таблицы ИОШТ используемого ГШ, сохранить ее для последующего применения, а также загрузить уже существующие таблицы ИОШТ и проконтролировать корректность используемых в них данных. При помощи программной клавиши **Frequency** пользователь может вручную ввести значение частоты, на которой нормируется ИОШТ. При помощи программной клавиши **ENR** пользователь может вручную ввести значение ИОШТ в заданной частотной точке, согласно градуировке ГШ. Ввод требуемых значений частоты и ИОШТ осуществляется в соответствии со стандартными процедурами, описанными в разделах 2.16 и 2.18. Таким образом, создается одна табличная запись – пара значений частоты и ИОШТ. Пользователь может вручную создать нужное количество записей в соответствии с градуировкой используемого источника шума и сохранить вновь созданную таблицу ИОШТ в память прибора или на съемный накопитель информации как файл с расширением txt. Записи используемой (или редактируемой) таблицы ИОШТ отображаются под масштабной сеткой (программная клавиша **Show** позволяет скрыть или снова активировать отображение таблицы ИОШТ). Скроллинг между записями осуществляется при помощи рукоятки плавной регулировки. Активная запись выделяется красным цветом. Редактирование данных частоты и ИОШТ выполняется только для активной записи. Программная клавиша **File Name** позволяет выбрать (загрузить) нужный файл с таблицей ИОШТ. Загрузка файла осуществляется при помощи стандартной процедуры Windows, как показано на рисунке 112. Программная клавиша **<-Back** возвращает пользователя в дополнительное меню КШ.

Рис. 113. Состав меню программных клавиш Input Loss / Output Loss. Процедура загрузки таблицы потерь на входе / выходе тестируемого устройства.

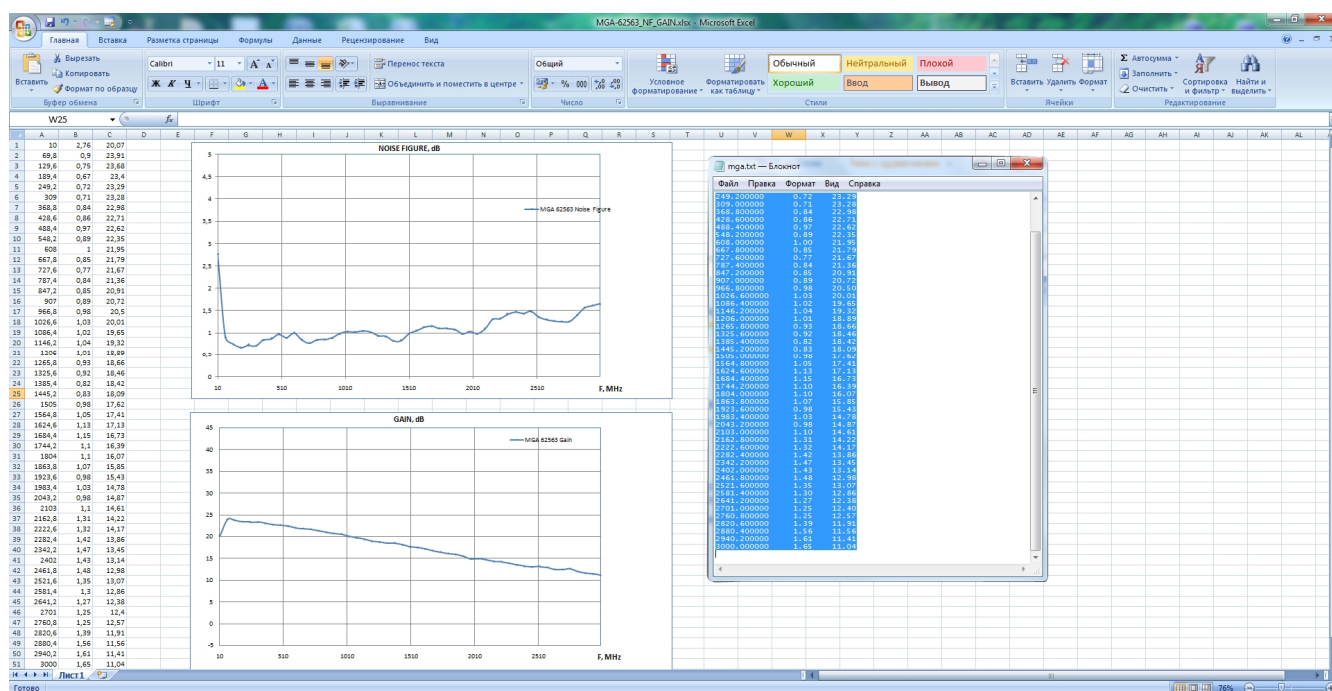


Программная клавиша **Loss Correction** в дополнительном меню КШ (см. рисунок 111) позволяет пользователю перейти в меню входных или выходных потерь. Следует сразу отметить, что меню входных и выходных потерь полностью идентичны. Поэтому мы рассмотрим только меню потерь входа (все, что ниже изложено для меню потерь входа, в полной мере относится и к меню потерь выхода). В меню потерь входа пользователь может осуществить ручной ввод (редактирование) таблицы ослаблений, сохранить ее для последующего применения, а также загрузить уже существующие таблицы ослаблений и проконтролировать корректность используемых в них данных. При помощи программной клавиши **Frequency** пользователь может вручную ввести значение частоты, на которой нормируется величина вносимого ослабления. При помощи программной клавиши **Magnitude** пользователь может вручную ввести значение ослабления в заданной частотной точке. Ввод требуемых значений частоты и вносимого ослабления осуществляется в соответствии со стандартными процедурами, описанными в разделах 2.16 и 2.18. Таким образом, создается одна табличная запись – пара значений частоты и ослабления. Пользователь может вручную создать нужное количество записей и сохранить вновь созданную таблицу потерь в память прибора или на съемный накопитель информации как файл с расширением txt. Записи используемой (или редактируемой) таблицы потерь отображаются под масштабной сеткой. Скроллинг между записями осуществляется при помощи рукоятки плавной регулировки. Активная запись выделяется красным цветом. Редактирование данных частоты и ослабления выполняется только для активной записи.

Программная клавиша **File Name** позволяет выбрать (загрузить) нужный файл с таблицей потерь. Загрузка файла осуществляется при помощи стандартной процедуры Windows, как показано на рисунке 113. Нужно обратить внимание, что загрузка таблицы потерь может быть осуществлена как из текстового файла (с расширением txt, ранее созданного пользователем вручную), так и из S2P-файла (с расширением s2p, полученного в результате измерения на анализаторе цепей). При этом если пользователь осуществляет редактирование данных, изначально загруженных из S2P-файла, то сохранить отредактированную таблицу он сможет уже только с расширением txt (а не s2p). Программная клавиша **Loss** позволяет вручную активировать таблицу потерь. Если коррекция потерь была активирована в программе **Wizard** во время предварительного конфигурирования измерения, в программной клавише **Loss** будет включен режим **ON**. Также на экране в верхнем правом углу будет выведена надпись желтого цвета «Corrected Input Loss». Программная клавиша **<-Back** возвращает пользователя в дополнительное меню КШ.

Программная клавиша **Temperature** в дополнительном меню КШ (см. рисунок 111) позволяет задать физическую температуру «холодного» источника шума в кельвинах или градусах Цельсия для случаев, когда $T_{\text{COLD}} \neq T_0$. Следует сразу отметить, что в действительности такими окажется подавляющее большинство случаев, поскольку в измерительной лаборатории крайне редко поддерживается температура $T_0 = 290\text{K}$ (16,8°C). Используемое значение температуры «холодного» источника отображается в правом нижнем углу экрана.

Рис. 114. Обработка сохраненных результатов измерения в Excel.

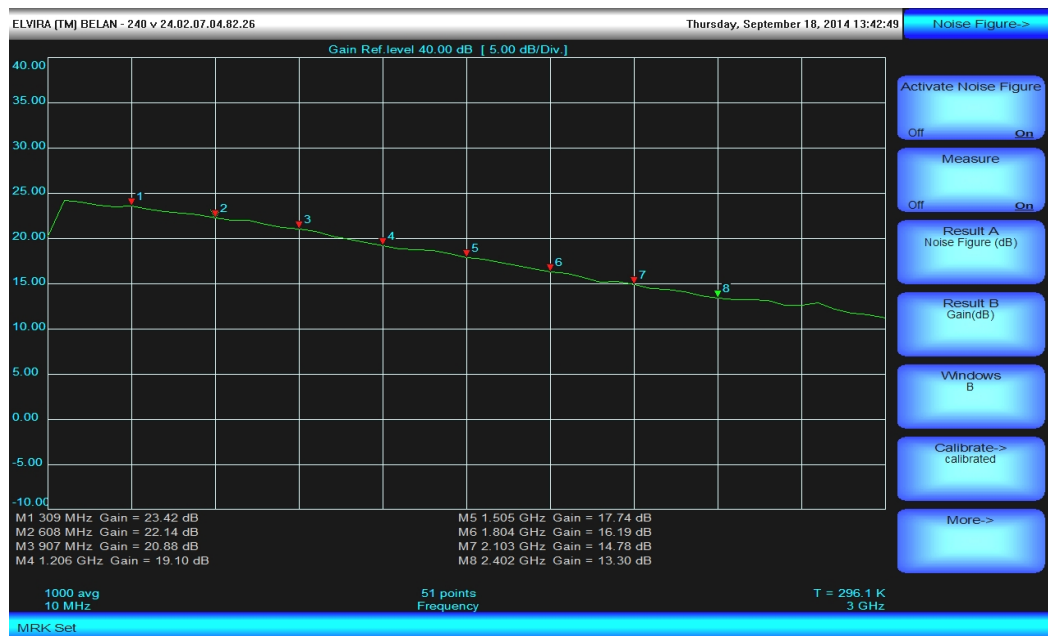


Программная клавиша **Save Data** в дополнительном меню КШ (см. рисунок 111) позволяет сохранить результат измерения в текстовый файл для его последующей обработки (например, для формирования отчета в Excel). Как показано на рисунке 114, сохраняемый текстовый файл состоит из трех колонок цифр, где первая колонка – это частота в МГц, вторая колонка – коэффициент шума в дБ, третья – коэффициент передачи в дБ.

Важным аспектом измерения коэффициента шума (как и вообще любого измерения) является получение мгновенного значения измеряемой величины в интересующей точке. Как говорилось выше, цифровое значение измеренных величин во всех точках измерительной трассы можно получить, выбрав табличный режим вывода данных измерения. Также произвести отсчет значения измеренной величины в отдельной точке можно при помощи маркера. Работа с маркером осуществляется в соответствии с разделом 2.19. На измерительной трассе может быть установлено до 8 маркеров. Считываться будет измеренное значение в точке активного маркера. Если используется режим одновременного вывода графиков **A** и **B**, то маркеры устанавливаются, а значения активных маркеров считываются - сразу для обоих графиков. При этом маркеры графиков **A** и **B** всегда привязаны друг к другу по частоте. Также пользователь может вывести на экран таблицу маркеров (см. рисунок 115). Однако, поскольку таблица маркеров изначально привязана к

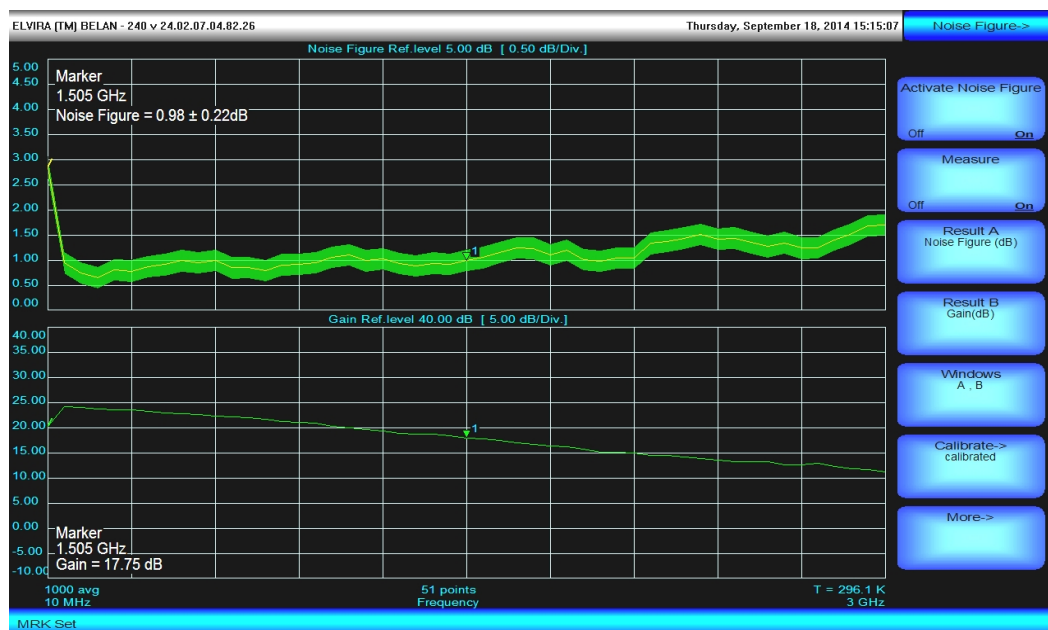
стандартному режиму анализа спектра сигнала, при активации таблицы маркеров текущий режим окон измерения КШ и КП будет автоматически переключен на режим одного окна (**A** или **B**). В случае принудительного возврата в режим отображения двух графиков (**A,B** или **A+B**) таблица маркеров будет автоматически деактивирована.

Рис. 115. Активация таблицы маркеров.



Если пользователь в программе **Wizard** подключил функцию автоматического расчета остаточной неопределенности измерения (предварительно введя соответствующие данные), то при измерении коэффициента шума будет отображаться не только график КШ, но и его доверительный интервал (см. рисунок 116). При отсчете измеренной величины по маркеру, а также при табличном выводе будет отображаться не только измеренная величина, но и остаточная неопределенность ее измерения. Неопределенность измерения отображается только для формата КШ в логарифмическом виде.

Рис. 116. Отображение графика КШ при включенной функции расчета остаточной неопределенности измерения.



2.32.2. Измерение коэффициента шума устройств с переносом частоты при помощи интерактивной системы Noise Figure Measurement Wizard.

Тестирование частотно-преобразующих устройств является отдельной структурной веткой программного обеспечения **Wizard**. Следует сразу сказать, что вне программного обеспечения **Wizard** конфигурирование данных измерений в анализаторах «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» не предусмотрено (в отличие от измерений усилителей).

Устройство с переносом частоты или конвертор при помощи дополнительного сигнала гетеродина F_{LO} преобразует некоторую входную частоту или полосу частот F_{RF} в некоторую выходную частоту или полосу частот F_{IF} (ПЧ, промежуточная частота), которая не равна входной и может быть представлена как сумма или разность входной частоты и частоты гетеродина ($F_{IF}=F_{RF}\pm F_{LO}$). Таким образом, конвертор - это устройство с тремя портами: входом сигнала (по-английски RF), входом гетеродина (по-английски LO) и выходом ПЧ (по-английски IF).

Взаимное расположение диапазонов RF, LO и IF на оси частот обыкновенно называется частотным планом конвертора. Очевидно, что определение частотного плана конвертора является отправной точкой для конфигурирования параметров измерительного оборудования (анализатора спектра, генератора сигналов) и выбора источника шума.

Частотный план измерений устройств с переносом частоты определяется тремя ключевыми факторами: (1) **типом преобразователя**, (2) **режимом частотного преобразования**, (3) **режимом гетеродина**.

Тип преобразователя определяется по соотношению диапазонов частот входного сигнала (RF) и выходного сигнала ПЧ (IF). Если диапазон частот входного сигнала выше диапазона ПЧ, это означает, что осуществляется перенос частоты вниз, а само частотно-преобразующее устройство называется «даунконвертор» (от английского downconverter). Если диапазон частот входного сигнала оказывается ниже диапазона ПЧ, это означает, что частота переносится вверх, а частотно-преобразующее устройство называется «апконвертор» (от английского upconverter).

Режим частотного преобразования (режим нижней боковой полосы, верхней боковой полосы или двойной боковой полосы) определяется следующим образом: для даунконвертора по соотношению частот входного сигнала и сигнала гетеродина, для апконвертора по соотношению частот гетеродина и сигнала ПЧ. Если гетеродин для даунконвертора по частоте ниже входного сигнала или, для апконвертора, ниже сигнала ПЧ, то такой режим частотного преобразования называется режимом верхней боковой полосы (по-английски Upper Side Band или USB). Если гетеродин для даунконвертора по частоте выше входного сигнала или, для апконвертора, выше сигнала ПЧ, то такой режим частотного преобразования называется режимом нижней боковой полосы (по-английски Lower Side Band или LSB). Для даунконвертора возможен специфический режим частотного преобразования, когда сигнал преобразуется на ПЧ из обеих боковых полос (симметрично расположенных сверху и снизу от гетеродина). Этот режим называется режимом двойной боковой полосы (по-английски Double Side Band или DSB). Для апконвертора этот режим отсутствует.

Режим гетеродина (фиксированный или перестраиваемый) определяется по критерию наличия/отсутствия качания частоты в гетеродине. Если гетеродин стоит на фиксированной частоте, то это режим - «фиксированный» (по-английски Fixed LO), если же гетеродин качается в некоторой полосе частот, то это режим – «перестраиваемый» (по-английски Swept LO).

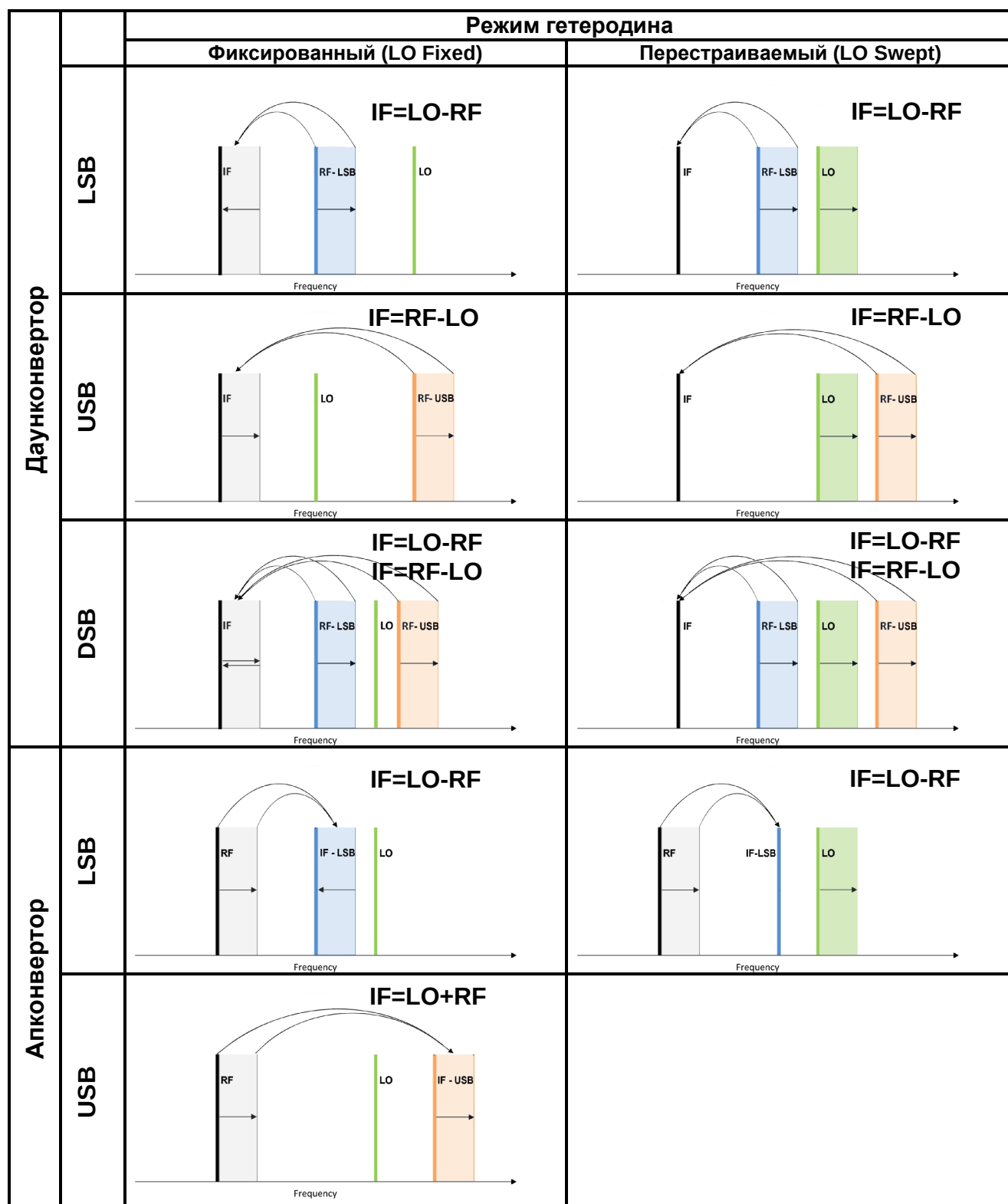
Все практически реализуемые частотные планы конверторов, возникающие при различных комбинациях факторов (1), (2) и (3), укладываются в 9 возможных сценариев, которые кратко описаны в таблице на рисунке 117.

Приступая к анализу коэффициента шума устройств с переносом частоты, следует помнить, что данный вид измерений принципиально не является простым ни с концептуальной, ни с аппаратной точки зрения. Данные измерения требуют от пользователя ясного понимания частотного плана тестируемого конвертора, а также природы возникновения различных побочных продуктов частотного преобразования, которые могут ограничивать точность измерений или даже делать корректные измерения невозможными.

К сигнальному входу конвертора во время измерения подключается источник шума, который является устройством принципиально широкополосным. Для даунконвертора это означает, что преобразование шума на ПЧ будет осуществляться из обеих боковых полос, симметрично расположенных относительно

гетеродина. Если целью измерения является тестирование коэффициента шума только в одной боковой полосе (иными словами, если пользователь специально не заинтересован в режиме DSB), то мешающий зеркальный отклик необходимо подавить при помощи внешнего аппаратного фильтра.

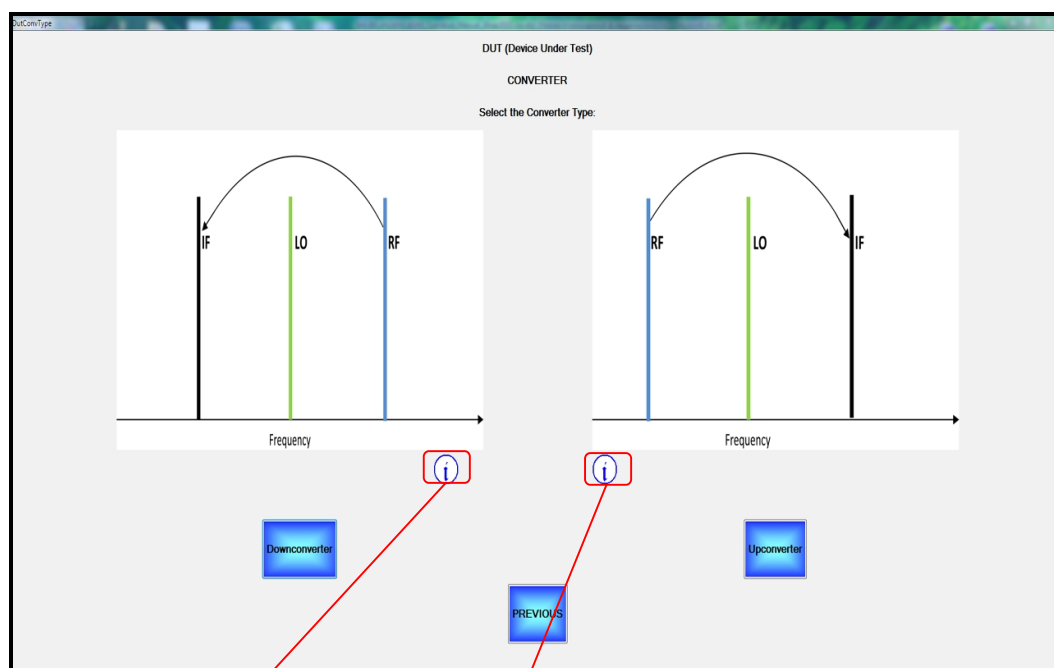
Рис. 117. Девять вариантов частотного плана частотно-преобразующих устройств.



Со стороны гетеродина может возникать несколько мешающих факторов.

Во-первых, в любом конвертере есть паразитный «пролаз» сигнала с гетеродинного входа на выход ПЧ. Даже при значительном подавлении указанного паразитного пролаза (например, в 50 дБ) этот сигнал при попадании на ПЧ может блокировать приемный канал анализатора спектра, поскольку измерения коэффициента шума для достижения максимальной чувствительности обычно проводятся при максимальном коэффициенте усиления в тракте ПЧ. Если сигнал используемого гетеродина по частоте расположен выше 4 ГГц, а ПЧ ниже 3 ГГц, то паразитный пролаз гетеродина при измерении коэффициента шума будет подавлен фильтром низких частот (ФНЧ), установленным в анализаторе спектра в диапазоне трехкратного преобразования (9 кГц-3 ГГц). Если же и гетеродин, и ПЧ попадают в диапазон до 3 ГГц, то при измерении коэффициента шума по выходу ПЧ конвертера необходимо использовать дополнительный внешний ФНЧ или соответствующий полосовой фильтр, подавляющий «пролаз» сигнала гетеродина и пропускающий сигнал ПЧ.

Рис. 118. Окно выбора типа конвертера с переводом выпадающих подсказок.



Downconverter In the present noise figure measurement software the downconverter is defined as a device with the RF frequency range higher than the IF frequency range	В рамках настоящего программного обеспечения «даунконвертор» определяется как устройство, у которого диапазон частот сигнала (RF) выше, чем диапазон ПЧ (IF).
Upconverter In the present noise figure measurement software the upconverter is defined as a device with the RF frequency range lower than the IF frequency range	В рамках настоящего программного обеспечения «апконвертор» определяется как устройство, у которого диапазон частот сигнала (RF) ниже, чем диапазон ПЧ (IF).

Во-вторых, поскольку по сигнальному входу конвертера используется широкополосный источник шума, преобразование шума на ПЧ может выполняться не только от первой гармоники гетеродина, но и от старших гармоник. Преобразование шума на гармониках гетеродина может искажать результаты измерений. Поэтому гармоники гетеродина с высоким относительным уровнем следует фильтровать при помощи внешних фильтров, подключенных между конвертером и источником гетеродина.

В-третьих, фактором, ограничивающим точность измерений коэффициента шума, может быть фазовый шум гетеродина. Абсолютное значение мощности фазового шума на нужной отстройке, соответствующей частоте ПЧ, должно быть, как минимум, на 10 дБ ниже, чем мощность шумов на выходе объекта измерения при «холодном» источнике шума на данной частоте. Абсолютное значение мощности фазового шума можно

оценить, если из значения мощности гетеродина вычесть спецификацию фазового шума и подавление гетеродина на выходе ПЧ конвертора. Например, абсолютное значение мощности на отстройке 10 МГц для гетеродина с уровнем мощности +20 дБм и фазовым шумом -120 дБн/Гц (отстройка 10 МГц) при подавлении гетеродинного пролаза в 40 дБ составит -140 дБм/Гц. Если указанная величина выше уровня мощности шума (или сопоставима с уровнем мощности шума) на выходе объекта измерения при холодном источнике шума, в измерение будет внесена существенная дополнительная ошибка.

В-четвертых, нужно учитывать возможность отрицательного влияния на точность измерения со стороны так называемого широкополосного шума гетеродина. Если в составе гетеродина для повышения уровня мощности используются микросхемы широкополосных усилителей на арсениде или нитриде галлия, то они могут генерировать дополнительный широкополосный шум, который может проникать на ПЧ и вносить ошибки в измерение. Для подавления такого шума по гетеродинному входу конвертора необходимо использовать соответствующие внешние полосовые фильтры.

Таким образом, в большинстве случаев измерения коэффициента шума и коэффициента передачи конверторов требуют применения внешних фильтров как по входам сигнала и гетеродина, так и по выходу ПЧ. Причем для разных типов конверторов будут нужны разные фильтры. Очевидно, что пользователь вынужден или располагать подобными фильтрами или заказывать их отдельно для каждого типа тестируемых устройств. Программа **Wizard** значительно облегчает конфигурирование измерений устройств с переносом частоты, поскольку благодаря системе интерактивного диалога с пользователем и наличию развернутых подсказок она позволяет определить тип конвертора, рассчитать его частотный план, в зависимости от режима частотного преобразования, определить основные нежелательные продукты смешения и соответствующим образом сконфигурировать измерительное оборудование (сам анализатор спектра, а также вспомогательный измерительный генератор).

При выборе в программе **Wizard** структурной ветки **CONVERTER** появляется диалоговое окно, показанное на рисунке 118. В этом окне пользователю предлагается выбрать тип тестируемого конвертора (**DOWNCONVERTER** или **UPCONVERTER**), руководствуясь пояснительными диаграммами и определениями, которые выпадают при нажатии на справочную пиктограмму «i». Выбор типа конвертора осуществляется нажатием на соответствующую программную клавишу. Возврат к выбору типа объекта измерения (усилитель или конвертор) осуществляется нажатием программной клавиши **PREVIOUS**.

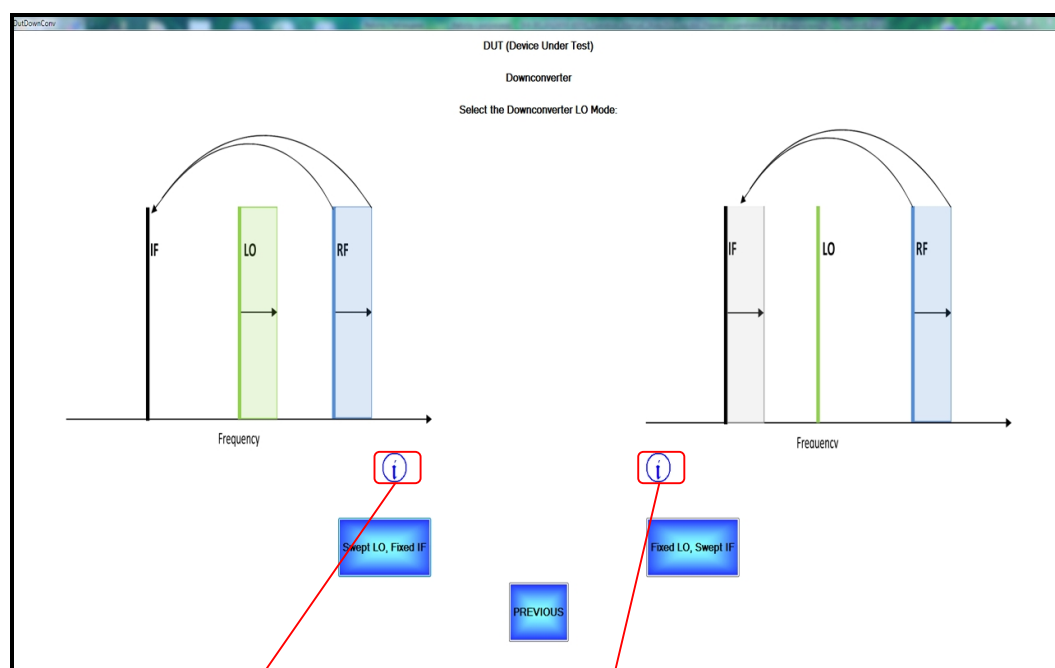
В следующих разделах будет сначала рассмотрена структурная ветка программного обеспечения, относящаяся к даунконвертору, и, в качестве примера, показано измерение типового даунконвертора. Затем аналогичным образом будет рассмотрена структурная ветка программы, относящаяся к апконвертору, и дан пример измерения типового апконвертора.

2.32.2.1. Конфигурирование измерений даунконверторов.

После нажатия на программную клавишу **Downconverter** открывается диалоговое окно выбора режима гетеродина, показанное на рисунке 119. Здесь пользователь должен определить, является ли гетеродин, используемый при измерении коэффициента шума и передачи конвертора, перестраиваемым (Swept LO) или фиксированным (Fixed LO). Использование перестраиваемого гетеродина предполагает наличие внешнего измерительного генератора. В случае фиксированного гетеродина его сигнал может обеспечиваться как при помощи внешнего измерительного генератора, так и может генерироваться внутри объекта измерения. Для выбора режима перестраиваемого гетеродина необходимо нажать программную клавишу **Swept LO, Fixed IF**. Для выбора режима фиксированного гетеродина необходимо нажать программную клавишу **Fixed LO, Swept IF**. Нажатие клавиши **PREVIOUS** возвращает в окно выбора типа конвертора.

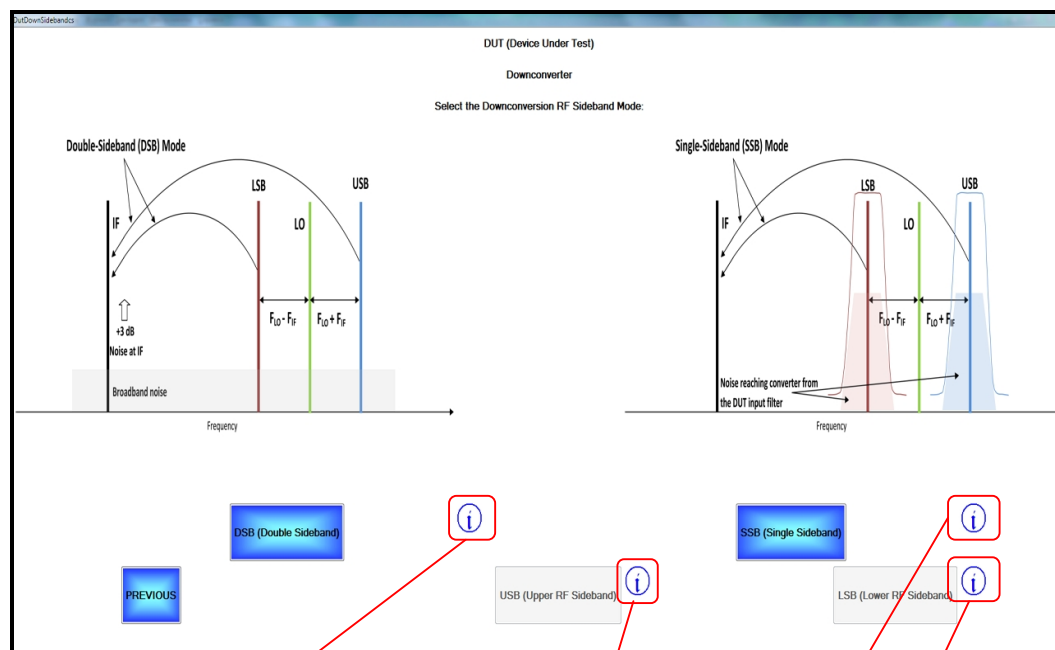
После выбора режима гетеродина будет открыто окно выбора режима частотного преобразования для даунконвертора (см. рисунок 120). Содержание этого диалогового окна не зависит от того, какой режим гетеродина выбрал пользователь, поскольку для даунконвертора набор возможных режимов частотного преобразования для фиксированного и перестраиваемого гетеродина одинаковый. Фактически в данном диалоговом окне пользователь должен принять два решения: во-первых, будет ли использоваться режим двойной или же одиночной боковой полосы; во-вторых, если выбирается режим одиночной боковой полосы, то из какой именно боковой полосы (верхней или нижней) выполняется частотное преобразование. Выбор режима двойной боковой полосы осуществляется нажатием на программную клавишу **DSB (Double Sideband)**. Получить дополнительные сведения о данном режиме можно при помощи соответствующей информационной пиктограммы.

Рис. 119. Окно выбора режима гетеродина для даунконвертора с переводом выпадающих подсказок.



Swept LO, Fixed IF The LO signal is provided by an external synthesizer which is swept across the specified range. The analyzer is locked at a fixed IF frequency.	Перестраиваемый гетеродин, фиксированная ПЧ. Сигнал гетеродина (LO) обеспечивается внешним синтезированным генератором сигналов, который перестраивается в заданной полосе частот. Анализатор спектра производит измерение на фиксированной частоте.
Fixed LO, Swept IF The LO signal is locked at a fixed frequency and is either provided by an external synthesizer or generated inside the DUT. The analyzer is swept across the IF frequency range.	Фиксированный гетеродин, перестраиваемая ПЧ. Сигнал гетеродина (LO) стоит на фиксированной частоте и обеспечивается либо внешним генератором сигналов, либо генерируется внутри объекта измерения. Анализатор перестраивается в заданной полосе частот.

Рис. 120. Окно выбора режима частотного преобразования для даунконвертора с переводом выпадающих подсказок.



DSB (Double Sideband)

The DSB measurements are made with noise from the two sidebands symmetrically arranged about the LO frequency. For the DSB approach to be valid the noise powers from the two sidebands must be equal. Hence, the DSB mode is appropriate:

- if there are NO large variations of noise figure, gain and ENR between the sidebands to justify the assumption of the equal noise powers. This will most probably hold true if the LO and sidebands frequencies are maintained close together (the IF value is kept low).

Режим DSB (режим двойной боковой полосы)

Даунконвертор тестируется в режиме DSB, когда шум на ПЧ преобразуется из обеих боковых полос, симметрично расположенных относительно частоты гетеродина. DSB измерения могут считаться достоверными, если мощность шума в обеих боковых полосах одинаковая. Отсюда следует, что DSB режим можно использовать:

- если значения КШ, КП и ИОШТ не варьируются в пределах обеих боковых полос.

Как правило, это условие будет соблюдаться, если на оси частот гетеродин и обе боковые полосы расположены близко друг от друга (используется низкая ПЧ).

USB (Upper RF Sideband)

In the present noise figure measurement software the USB mode for the downconverter is defined as the scenario where the RF range is higher than the LO range. The upper sideband refers to the RF signal for a downconverter.

Режим USB (режим верхней боковой полосы по РЧ сигналу)

В рамках данного программного обеспечения режим USB для даунконвертора определяется как разновидность частотного плана, где диапазон частот РЧ сигнала выше по частоте, чем диапазон гетеродина. В случае даунконвертора термин USB относится ко входному РЧ сигналу.

SSB (Single Sideband)

The SSB mode can be selected if the filters required to isolate the sideband of interest are available. For the SSB noise figure measurements to be accurate one must remove the unwanted image response, LO harmonics mixing products and LO leakage. The SSB mode is most appropriate if:

- the mixer is to be tested in the same circumstances in which it will be used in a real application (with real filters, matching networks etc.);
- the LO and mixer sideband frequencies are sufficiently separated to allow for adequate filtering (the IF value is kept high enough).

Режим SSB (режим одиночной боковой полосы)

Даунконвертор тестируется в режиме SSB, когда в наличии имеются фильтры, которые позволяют выделить только нужный продукт частотного преобразования. Для того чтобы SSB измерения были достоверными, необходимо аппаратно подавить зеркальный канал, продукты преобразования на гармониках гетеродина и пролаз гетеродина. Режим SSB является наиболее подходящим:

- если конвертор должен быть протестирован в условиях, максимально приближенных к реальным (с реальными фильтрами, цепями согласования и т.д.);
- если диапазоны гетеродина и боковых полос достаточно разнесены друг от друга на оси частот, чтобы стала возможной реализация необходимых фильтров (т.е. в конверторе используется высокая ПЧ).

LSB (Lower RF Sideband)

LSB (Lower RF Sideband)

In the present noise figure measurement software the LSB mode for the downconverter is defined as the scenario where the RF range is lower than the LO range. The lower sideband refers to the RF signal for a downconverter.

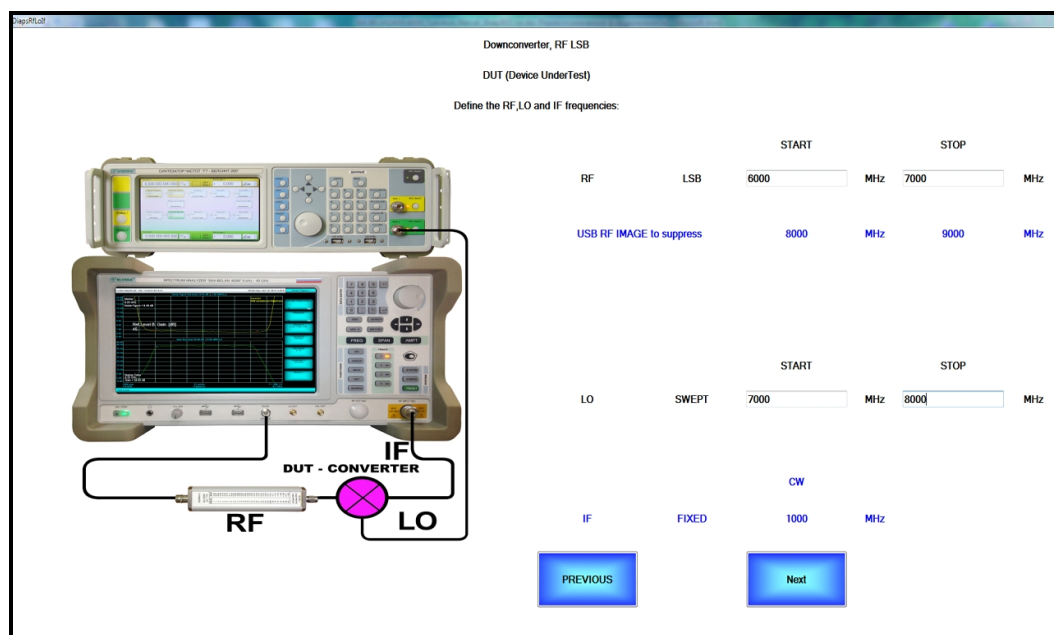
Режим LSB (режим нижней боковой полосы по РЧ сигналу)

В рамках данного программного обеспечения режим LSB для даунконвертора определяется как разновидность частотного плана, где диапазон частот РЧ сигнала ниже по частоте, чем диапазон гетеродина. В случае даунконвертора термин LSB относится ко входному РЧ сигналу.

Как следует из пояснительной диаграммы и выпадающей подсказки для режима DSB, режим двойной боковой полосы используется при тестировании таких конверторов, у которых ПЧ низкая (единицы или десятки мегагерц), а частоты боковых полос и гетеродина располагаются близко друг к другу. В этом случае реализация на СВЧ качественных фильтров, позволяющих выделить только нужный продукт частотного преобразования, представляется затруднительной, и одновременно, как правило, можно утверждать, что при низкой ПЧ коэффициенты шума и передачи объекта измерения, а также ИОШТ источника шума в диапазоне частот двух боковых полос будут варьироваться крайне незначительно. Таким образом, справедливым будет предположение, что мощность шума, преобразованного из двух боковых полос, окажется ровно в два раза больше мощности шума, которая была бы преобразована из одной боковой полосы. Это позволяет использовать поправочный коэффициент 3 дБ для расчета эффективного значения однополосного КП. Если характеристики КШ, КП и ИОШТ в пределах двух боковых полос монотонными не являются, использовать режим DSB нельзя.

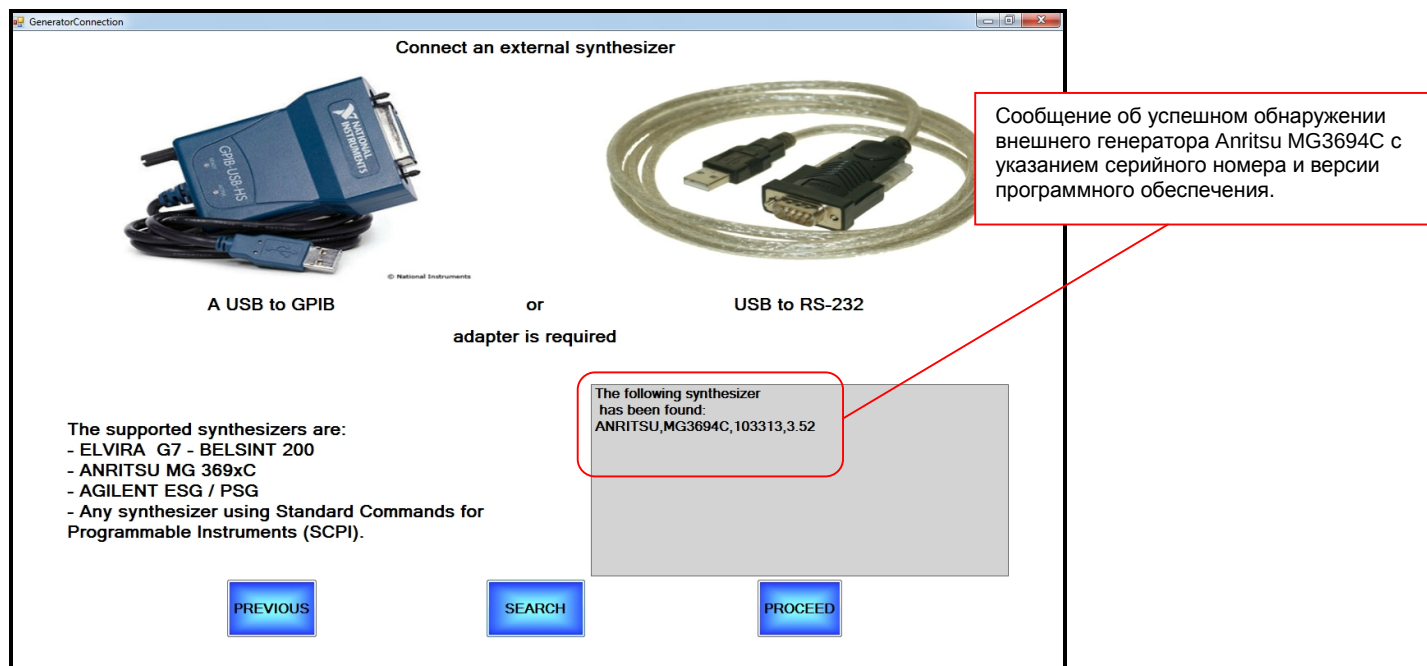
Если у тестируемого конвертора ПЧ высокая (как правило, единицы гигагерц) и в наличии имеются фильтры, позволяющие выделить только нужную боковую полосу по сигнальному входу, то правильным решением будет выбор режима одиночной боковой полосы (SSB). Выбор данного режима осуществляется нажатием на программную клавишу **SSB (Single Sideband)**. После этого активируются две дополнительные клавиши, позволяющие определить нужную боковую полосу частотного преобразования – верхнюю (нажатием программной клавиши **USB (Upper Sideband)**) или нижнюю (нажатием программной клавиши **LSB (Lower Sideband)**). Следует обратить внимание, что термин боковая полоса в случае даунконвертора относится к входному сигналу (RF), о чем сообщают подсказки, выпадающие при нажатии на соответствующие информационные пиктограммы (см. рисунок 120).

Рис. 121. Окно редактирования частот сигнала и гетеродина для даунконвертора (режим перестраиваемого гетеродина).



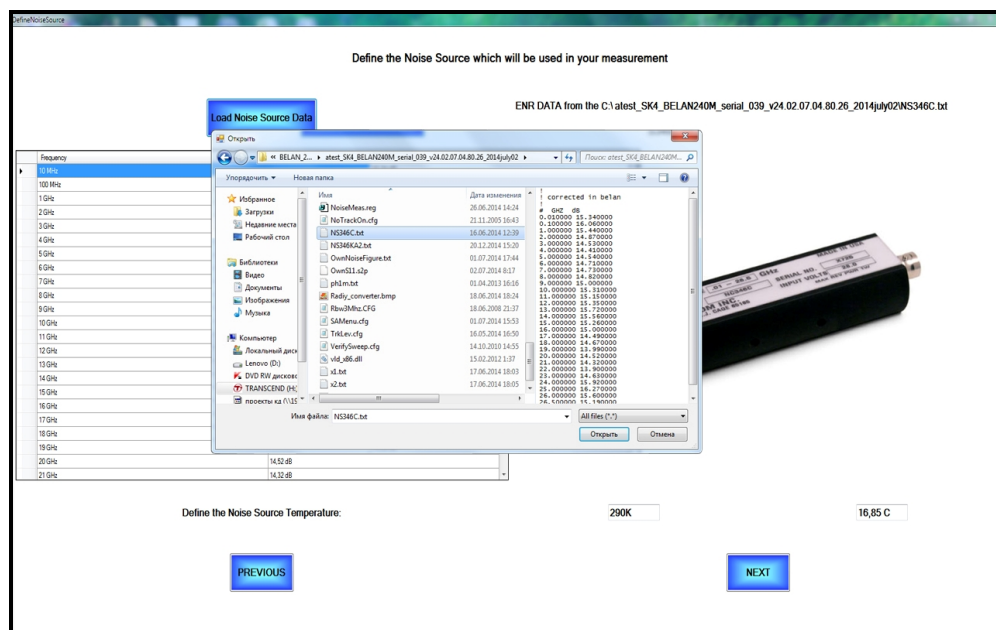
В следующем окне программы (см. рисунок 121) осуществляется редактирование частот входного сигнала и гетеродина. Поскольку программа **Wizard** уже располагает данными относительно типа конвертора, режима гетеродина и режима частотного преобразования, она автоматически рассчитывает частоту ПЧ и зеркального канала. В случае режима одиночной боковой полосы зеркальный канал – это тот канал, который по входу конвертора необходимо подавить при помощи внешнего фильтра. В случае двойной боковой полосы программа сообщает пользователю, из какого диапазона частот осуществляется дополнительное преобразование шумов на ПЧ. Этот диапазон частот в программе указан как **RF2 IMAGE**. Если используется режим фиксированного гетеродина, то для ввода частоты гетеродина, в отличие от рисунка 121, будет даваться только одно поле (а не два), а диапазон перестройки ПЧ будет определяться двумя частотами (начальной и конечной). Переход в следующее диалоговое окно осуществляется нажатием программной клавиши **Next**.

Рис. 122. Диалоговое окно с информацией о поддерживаемых вспомогательных генераторах.



В следующем диалоговом окне (см. рисунок 122) программа **Wizard** знакомит пользователя со списком поддерживаемых синтезированных генераторов, которые при тестировании КШ конверторов могут использоваться в качестве гетеродина, получая команды управления от анализаторов спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М». К поддерживаемым генераторам относятся: генератор Г7-БЕЛСИНТ 200 производства ЗАО ПФ «ЭЛВИРА», генераторы MG369xC производства компании Anritsu, генераторы серий ESG и PSG производства компании Keysight/Agilent, а также любые другие генераторы, использующие для внешнего управления команды SCPI.

Рис. 123. Окно определения параметров генератора шума.



Для подключения генераторов Anritsu и Agilent потребуется интерфейсный кабель GP-IB на USB, для подключения генератора Г7-БЕЛСИНТ 200 потребуется интерфейсный кабель RS-232 на USB (внешний вид типовых интерфейсных кабелей показан на рисунке 122). Соединение анализатора спектра и генератора при помощи интерфейсного кабеля осуществляется заранее, при выключенном питании. Включение

питания приборов должно производиться в такой последовательности: первым включается генератор, после него – анализатор спектра. Для обнаружения подключенного генератора необходимо нажать программную клавишу **SEARCH**. В случае успешного обнаружения внешнего генератора в диалоговом окне будет выведено соответствующее сообщение с указанием идентификатора генератора (см. рисунок 122).

В следующем диалоговом окне (см. рисунок 123) пользователь определяет параметры используемого источника шума: частотно-зависимую характеристику ИОШТ и действительное значение T_{COLD} . Загрузка файла ИОШТ осуществляется при помощи стандартной процедуры Windows тем же способом, как было ранее описано в структурной ветке тестирования усилителей. Важно помнить, что генератор шума должен перекрывать диапазон частот по сигнальному входу конвертора.

В диалоговом окне, изображенном на рисунке 124, пользователь должен определить ключевые параметры настройки анализатора спектра и вспомогательного генератора, которые будут использоваться во время калибровки и измерения коэффициента шума. Следует обратить внимание, что в окне конфигурирования параметров калибровки и измерения КШ конверторов (в отличие от аналогичного окна конфигурирования параметров калибровки и измерения КШ усилителей) пользователь уже не имеет возможности редактирования начальной и конечной частоты измерения – они отображаются только как справочная информация. Начальная и конечная частоты измерения (частоты, на которых анализатор спектра будет выполнять измерения мощности шума) соответствуют частотам выхода ПЧ конвертора и автоматически определяются частотным планом конвертора, который пользователь задает в предшествующих диалоговых окнах (см. рисунки 118-121). Все остальные параметры: значение ослабления входного аттенюатора, значение опорного уровня, состояние входного МШУ, уровень мощности гетеродина, время установки частоты гетеродина, количество точек измерения, количество усреднений, значение полосы пропускания, значение полосы видео фильтра - являются редактируемыми. Редактирование осуществляется нажатием на соответствующее поле ввода с последующим выбором одного из выпадающих значений (для ФПЧ, состояния МШУ и фильтра видео) или же набором в нужном поле ввода произвольного значения с клавиатуры. При первом наведении мыши на поле ввода или при нажатии на соответствующую область сенсорного экрана появляются развернутые подсказки, содержащие важную информацию относительно редактируемого параметра. Перевод всех всплывающих подсказок этого диалогового окна дан на рисунке 125. Если подсказка мешает, ее можно скрыть, нажав на нее или кликнув по ней мышью.

Рис. 124. Окно определения параметров анализатора спектра для калибровки и измерения КШ устройств с переносом частоты.

Define the Calibration and Measurement Parameters

Start Frequency	1	GHz	Input ATT	0	dB
Stop Frequency	1	GHz	REF Level	-50	dBm
			Low-Noise Amplifier	ON	
LO IN Level	17.0	dBm	Dwell Time	0.04	sec
Number of Points	51		Number of averages	100	
RBW	3 MHz		VBW	1 kHz	

PREVIOUS NEXT

Данные параметры не редактируются, поскольку они определяются автоматически, в соответствии с частотным планом конвертора, заданным в предыдущих диалоговых окнах (рисунки 118-121).

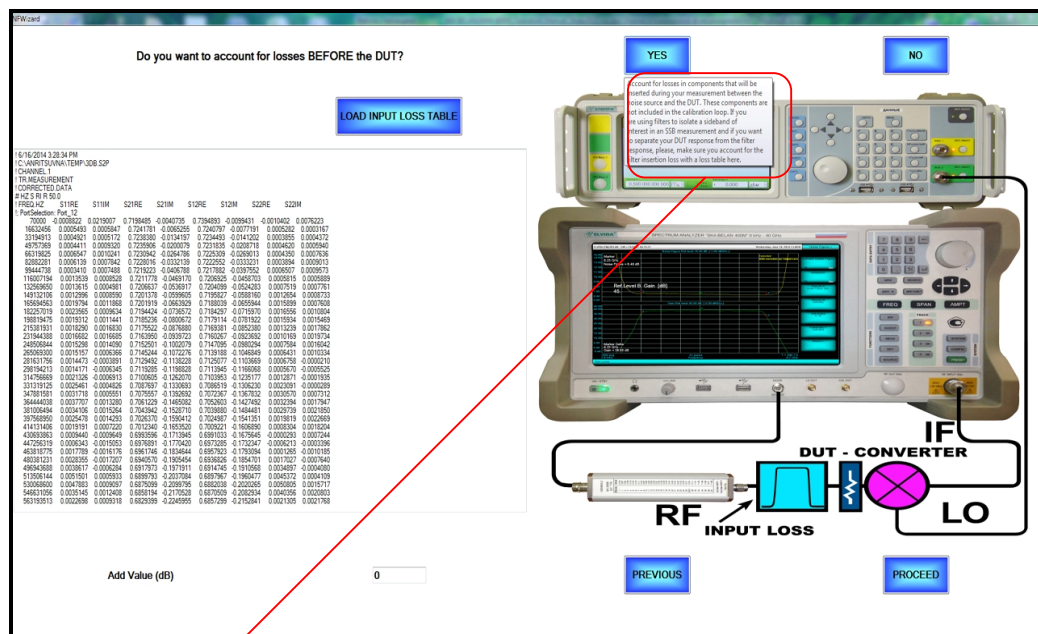
После нажатия программной клавиши **NEXT** открывается окно учета входных потерь (см. рисунок 126, верхнее изображение). Под потерями на входе объекта измерения понимаются любые согласующие цепи (аттенюаторы или вентили), частотно-избирательные цепи (фильтры), элементы коаксиального тракта (переходы, кабельные сборки), имеющие определенное ослабление и не позволяющие передать на вход

объекта измерения полную «горячую» мощность ГШ и, таким образом, искажающие номинальное значение ИОШТ ГШ. В отличие от измерений усилителей, при измерении КШ устройств с переносом частоты редактирование входных потерь является практически обязательной операцией (исключением являются измерения в режиме DSB). Это связано с тем, что измерения в одиночной боковой полосе (SSB) требуют обязательной фильтрации только нужного продукта частотного преобразования, а внешние аппаратные фильтры, как правило, имеют вносимое ослабление, которым пренебречь нельзя. Как уже говорилось выше, в программе **Wizard** реализовано два способа определения потерь на входе объекта измерения: при помощи фиксированного значения и при помощи S2P-файла. Если пользователь хочет определить входные потери как некоторое фиксированное значение ослабления (это значение будет использовано для всей полосы частот измерения), он просто вводит нужное число в поле **Add Value** (без знака «минус»). Для определения частотно-зависимой характеристики используемого фильтра необходимо загрузить соответствующий S2P-файл. Если такой файл с S-параметрами согласующей цепи имеется (получен в результате измерения на векторном анализаторе цепей), он загружается через стандартную процедуру Windows, вызываемую при помощи программной клавиши **LOAD INPUT LOSS TABLE**. Как уже говорилось, программа **Wizard** работает с любыми S2P-файлами и осуществляет их корректную интерполяцию в соответствии с установленным количеством точек измерения коэффициента шума.

Рис. 125. Перевод подсказок, выпадающих в окне редактирования основных параметров настройки анализатора и вспомогательного генератора.

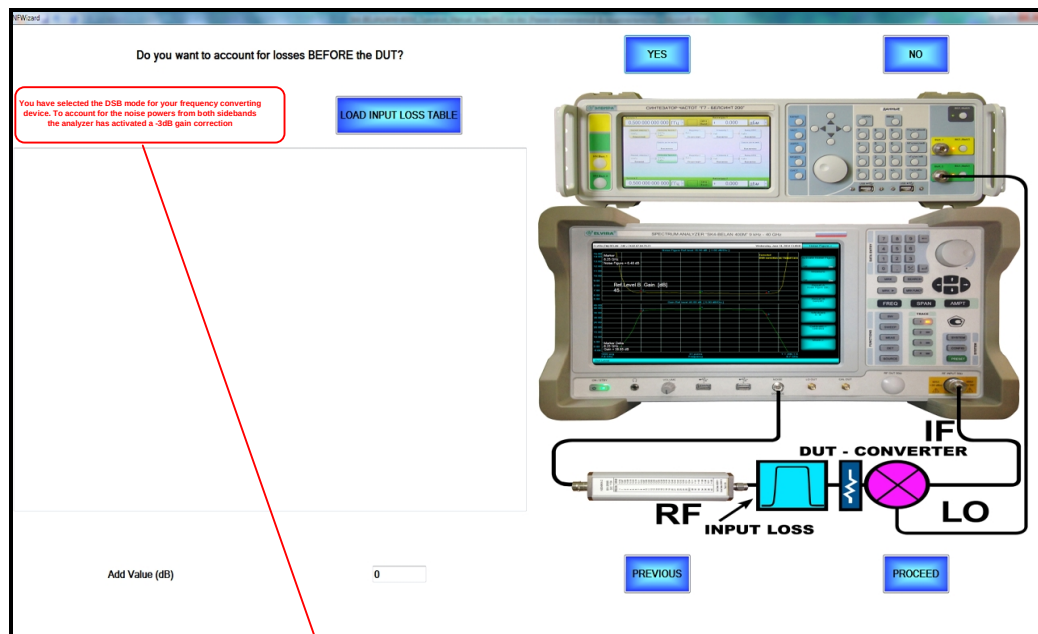
Input ATT 0 dB Input attenuator must be switched OFF (0 dB value) during the noise figure measurement. Otherwise erroneous results will be obtained.	Необходимо установить значение ослабления входного аттенюатора 0 дБ. В противном случае, результаты измерения окажутся ошибочными.
REF Level -50 dBm Select the spectrum analyzer reference level for the noise figure measurement. The reference level setting defines the gain of the variable IF amplifier and is the level which should not be exceeded during the measurement. Otherwise it will cause analyzer IF overload. Your DUT NF + Gain product must be lower than REF Level - DANL.	Установите значение опорного уровня анализатора спектра для измерения КШ. Значение опорного уровня определяет усиление в тракте ПЧ и фактически задает максимальный уровень, который нельзя превышать в ходе измерения. В противном случае произойдет перегрузка в тракте ПЧ анализатора. Сумма значений ожидаемого коэффициента шума и усиления в децибелах должна быть меньше, чем разность в децибелах между опорным уровнем и шумовой дорожкой анализатора при используемом ФПЧ.
Low-Noise Amplifier ON Low Noise Amplifier must be switched ON during the noise figure measurement. Otherwise erroneous results will be obtained. Your analyzer has a built-in LNA from 10 MHz to 24 GHz.	Входной малошумящий усилитель во время измерения должен быть включен. В противном случае, результаты измерения окажутся ошибочными. В вашем анализаторе установлен МШУ с диапазоном частот от 24 ГГц. Примечание: доступная верхняя граничная частота МШУ определяется прибором автоматически, исходя из установленных опций и может составлять 3 ГГц, 24 ГГц, 40 ГГц, 50 ГГц.
LO IN Level 17 dBm Select the LO power level for your noise figure calibration and measurement.	Установите мощность гетеродина для калибровки и измерения КШ. Примечание: данное значение выходной мощности будет установлено на внешнем вспомогательном генераторе, который управляется анализатором при помощи команд SCPI.
Dwell Time 0,04 sec This is the delay time in seconds required by the external synthesizer to transition to the next frequency point and settle there within an acceptable frequency error margin. The dwell time must not be lower than the synthesizer specified switching speed.	Время установки частоты – это время задержки в секундах, которое требуется внешнему генератору для переключения в следующую частотную точку и завершения переходного процесса в пределах приемлемого допуска по частоте. Время установки частоты не может быть меньше значения, гарантированного производителем генератора.
Number of Points 51 Select the number of frequency points where the noise figure and gain are measured. Increasing the number of points provides more trace details but slows down the measurement speed.	Выберите количество точек, в которых будет производиться измерение коэффициента шума и коэффициента передачи. Увеличение количества точек улучшит детализацию измерительной трассы, но снизит скорость измерения.
Number of averages 100 Select the number of average readings performed in each measurement point. Note that the larger number of average readings decreases the initial trace dispersion by a factor of $\sqrt{N}$.	Установите количество усреднений в каждой точке измерительной трассы. Обратите внимание, что шумовая дисперсия измерительной трассы снижается в $\sqrt{N}$, где N – количество усреднений. Рекомендуемое значение $N = 100$.
RBW 3 MHz Select the resolution bandwidth of your measurement. Note: you should narrow the RBW only if your DUT bandwidth is smaller or comparable to the currently used RBW. In the cases where the DUT bandwidth >> RBW, the maximum RBW (3MHz) must be used.	Выберите значение полосы пропускания для измерения. Обратите внимание, что сужать ФПЧ следует только в том случае, если полоса частот объекта измерения меньше или сравнима с текущим значением ФПЧ. В случаях, когда полоса объекта измерения >> ФПЧ, следует использовать максимальное значение полосы пропускания (3 МГц).
VBW 1 kHz Select the video filter bandwidth for your measurement. Note that decreasing the VBW by a factor of 10 is equal to increasing the number of averages by the same factor.	Установите значение видео фильтра. Обратите внимание, что сужение фильтра видео в 10 раз эквивалентно увеличению количества усреднений в 10 раз.

Рис. 126. Окно редактирования входных потерь конвертора (SSB режим сверху, DSB режим снизу).



Account for losses in components that will be inserted during your measurement between the noise source and the DUT. These components are not included in the calibration loop. If you are using filters to isolate a sideband of interest in an SSB measurement and if you want to separate your DUT response from the filter response, please, make sure you account for the filter insertion loss with a loss table here.

Учтите потери в компонентах, которые при измерении находятся между ГШ и объектом измерения. Эти компоненты не включаются в калибровочный тракт. Если вы осуществляете измерение в режиме SSB и используете внешние фильтры для выделения нужного продукта частотного преобразования, эти фильтры обязательно должны быть учтены как входные потери.



You have selected the DSB mode for your frequency converting device. To account for the noise powers from both sidebands the analyzer has activated a -3dB gain correction

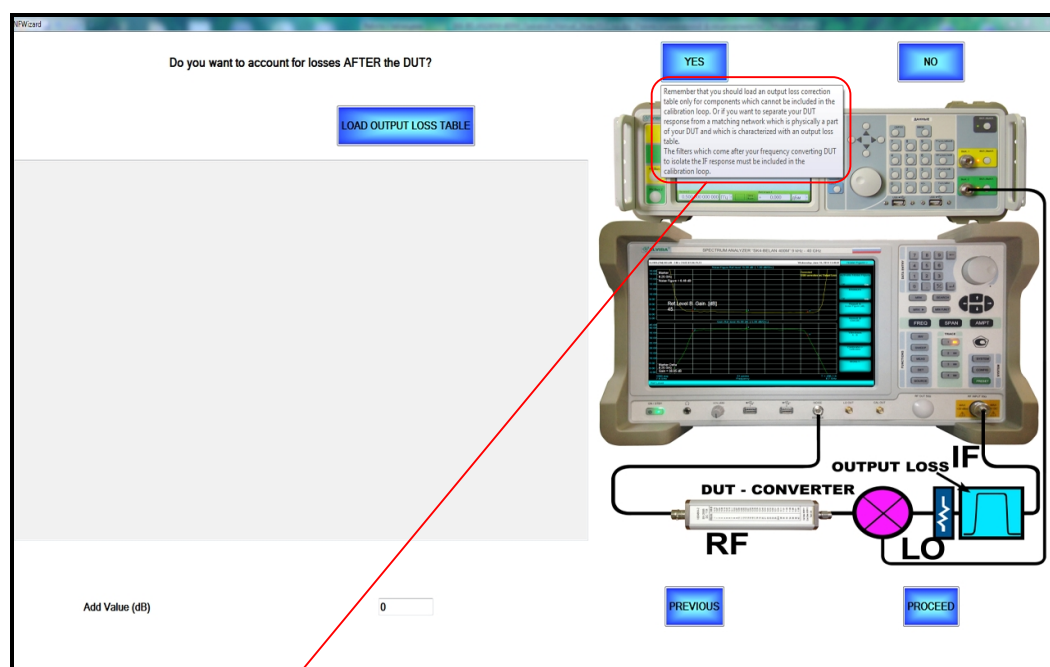
Вы выбрали режим измерения DSB для своего конвертора. Для учета эффекта преобразования шума из обеих боковых полос по сигнальному входу анализатор активировал автоматическую коррекцию усиления минус 3 дБ.

Если пользователь осуществляет измерение КШ конвертора в двойной боковой полосе (DSB), то в окне редактирования входных потерь будет автоматически выведено красным шрифтом предупреждение об активации автоматической коррекции усиления в минус 3 дБ (см. рисунок 126, нижнее изображение). Данная коррекция учитывает то обстоятельство, что при измерении КШ в двойной боковой полосе прибор

имеет дело с «усилением» шумового сигнала в два раза относительно однополосного измерения за счет одновременного преобразования шума на ПЧ сразу из обеих боковых полос по сигнальному входу.

В следующем диалоговом окне (см. рисунок 127) пользователю предлагается определить, нужно ли учесть в процессе измерения потери на выходе тестируемого устройства. При нажатии на программную клавишу **YES** появится подсказка о том, что потери на выходе тестируемого устройства должны учитываться математически только тогда, когда выходная согласующая цепь по каким-либо причинам не может быть включена в тракт калибровки (между выходом ГШ и входом анализатора). Например, данная цепь физически является частью объекта измерения, а пользователь хочет увидеть характеристику объекта, свободную от ее влияния. В остальных случаях потери на выходе объекта измерения математически характеризовать нецелесообразно - согласующая цепь учитывается методом ее непосредственного включения в тракт при калибровке. В частности, в калибровочный тракт должны быть включены фильтры ПЧ, которые используются на выходе ПЧ конвертора. Таким образом, чаще всего в данном окне нажимаются программные клавиши **NO** и **PROCEED**. Если все же необходимо учесть выходные потери, то программа **Wizard** предлагает уже описанные выше два способа их определения: при помощи фиксированного значения или при помощи S2P-файла. Загрузка данных осуществляется тем же способом, который был описан для потерь входа. Клавиша **PROCEED** позволяет перейти в окно окончательной проверки калибровочного тракта. Клавиша **PREVIOUS** возвращает пользователя в окно учета потерь входа.

Рис. 127. Окно редактирования выходных потерь конвертора.



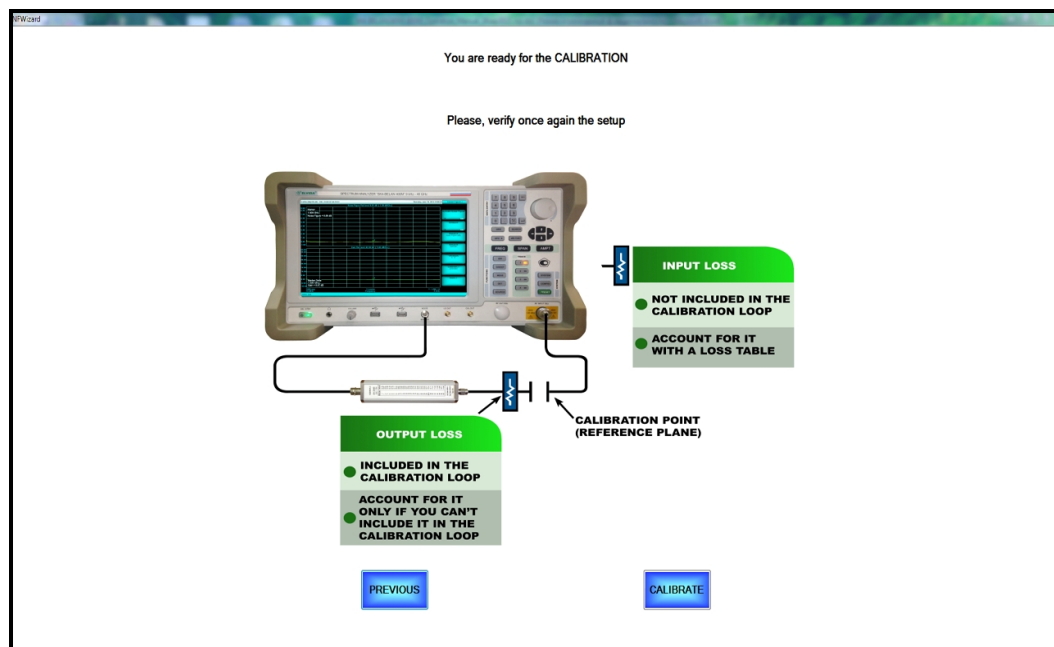
Remember that you should load an output loss correction table only for components which cannot be included in the calibration loop. Or if you want to separate your DUT response from a matching network which is physically a part of your DUT and which is characterized with an output loss table. The filters which come after your frequency converting DUT to isolate the IF response must be included in the calibration loop.

Помните, что загружать таблицу выходных потерь нужно только для компонентов, которые по каким-либо причинам не могут быть включены в калибровочный тракт. Например, когда вы хотите при помощи таблицы выходных потерь отделить характеристику вашего объекта измерения от согласующей цепи, которая физически включена в состав объекта измерения. Фильтры, которые используются по выходу ПЧ устройства с переносом частоты, должны быть включены в калибровочный тракт.

Окно окончательной проверки правильности сборки калибровочного тракта (см. рисунок 128) полностью идентично аналогичному окну из структурной ветки программного обеспечения для усилителей, которая была рассмотрена выше. При появлении данного окна необходимо убедиться, что внешний генератор сигналов подключен к анализатору, фильтры и элементы коаксиального тракта, которые при измерении размещаются после тестируемого устройства, включены в калибровочный тракт между ГШ и входом анализатора спектра. Фильтры и элементы коаксиального тракта, которые при измерении размещаются перед тестируемым устройством, должны быть исключены из калибровочного тракта. Их влияние должно быть компенсировано математически, как описано выше. Если калибровочный тракт собран правильно - в

соответствии с диаграммой, приведенной на рисунке 128, следует нажать программную клавишу **CALIBRATE**. Программа **Wizard** выполнит автоматическое конфигурирование аппаратных настроек анализатора и вспомогательного генератора согласно ранее введенным данным, запустит процедуру калибровки и режим стандартного отображения результатов измерения.

Рис. 128. Окно окончательной проверки схемы калибровочного тракта.



2.32.2.2. Пример измерения даунконвертора.

Рассмотрим пример практического измерения типового даунконвертора с фиксированным гетеродином. В качестве объекта измерения мы имеем составной даунконвертор со следующим частотным планом:

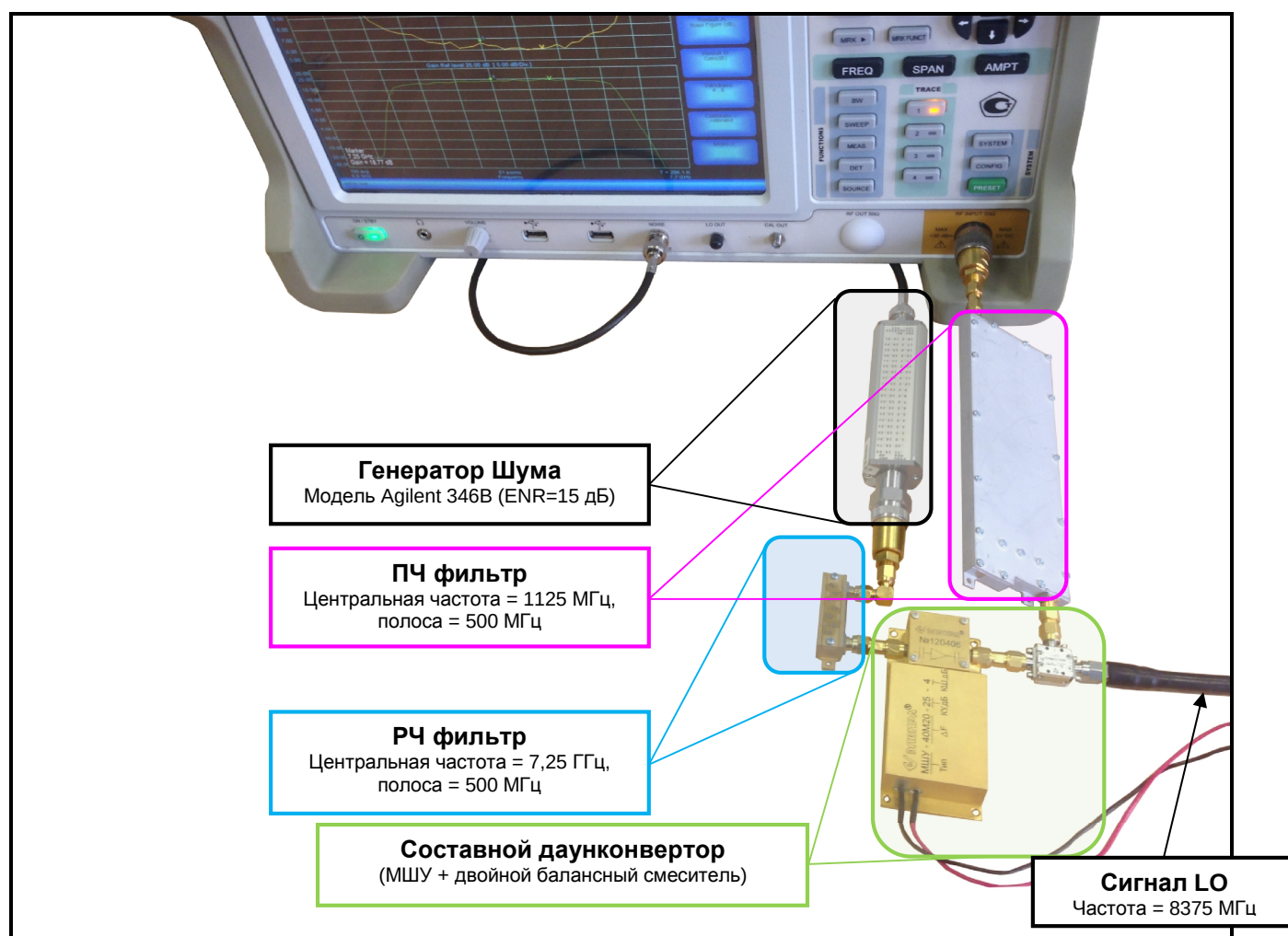
$$F_{RF} = 7000-7500 \text{ МГц}$$

$$F_{LO} = 8375 \text{ МГц}$$

$$F_{IF} = 1375-875 \text{ МГц}$$

Даунконвертор структурно состоит из входного полосового РЧ-фильтра для подавления зеркального канала (вносимые потери 3.8 дБ), МШУ (коэффициент усиления 31 дБ, коэффициент шума 2.5 дБ), смесителя (потери преобразования ~7 дБ) и ПЧ-фильтра (вносимые потери 1.4 дБ). Внешний вид конвертора показан на рисунке 129. Сигнал гетеродина подается от внешнего генератора. Для выполнения измерения КШ и КП данного даунконвертора необходимо выполнить следующую последовательность действий.

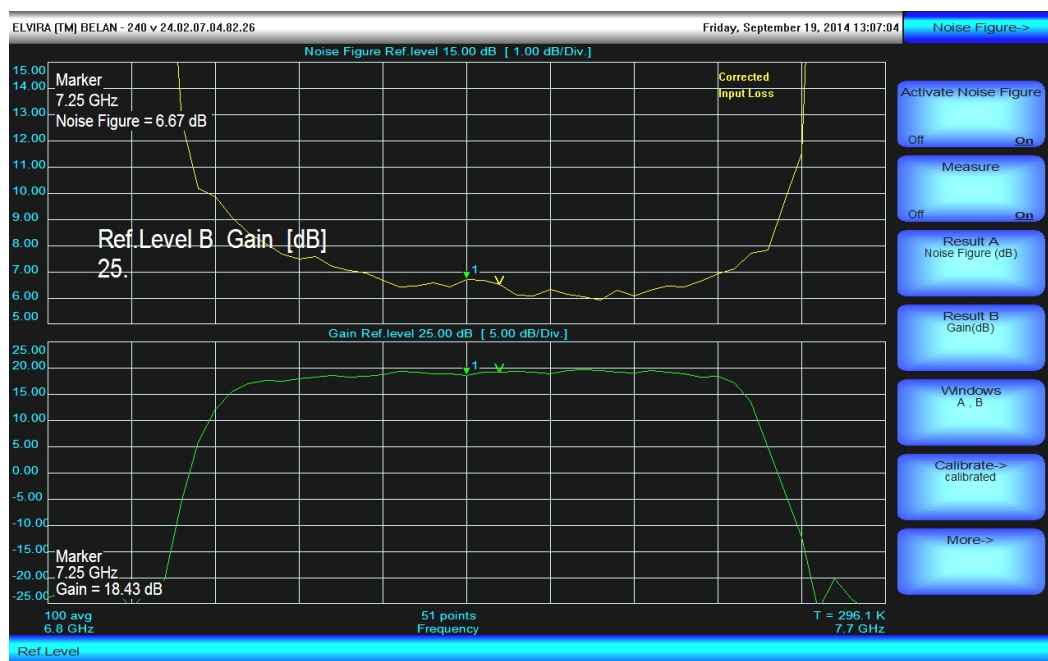
Рис. 129. Пример практической реализации тракта измерения даунконвертора.



Нажать кнопку **MEAS** на передней панели прибора, затем программную клавишу **Power** и в появившемся программном меню, связанном с автоматическими амплитудными измерениями, программную клавишу **Noise Figure**. В появившемся окне программы **Wizard** нажать программную клавишу **PROCEED WITH THE WIZARD**, затем последовательно – программные клавиши **CONVERTER**, **Downconverter**, **Fixed LO**, **Swept IF**, **SSB (Single Sideband)**, **LSB (Lower Sideband)**.

В диалоговом окне редактирования частотного плана ввести частоту **LO (8375 МГц)**, а также начальную и конечную частоты **RF**. Для того чтобы увидеть эффективную полосу преобразования даунконвертора и АЧХ фильтров, нужно выставить полосу измерения шире, чем полоса пропускания входного и выходного фильтра. Поскольку полоса пропускания фильтров по РЧ входу и РЧ выходу конвертора составляет примерно 500 МГц, установите для измерения полосу в 900 МГц (то есть ± 200 МГц от ожидаемого края полосы пропускания). Таким образом, следует ввести значение начальной частоты **RF 6800 МГц**, конечной – **7700 МГц**. Программа **Wizard** автоматически рассчитывает значения ПЧ: **IF START 1575 МГц**, **IF STOP 675 МГц**. Обратите внимание, что анализатор при измерении будет перестраиваться по частоте в соответствии с диапазоном ПЧ, то есть сверху вниз, от большего значения к меньшему (а не снизу вверх, как в режиме анализа спектра).

Рис. 130. Результат измерения типового даунконвертора.



В окне вспомогательных генераторов нажать **PROCEED**. В окне определения параметров ГШ загрузить файл ИОШТ для используемого источника шума при помощи программной клавиши **Load Noise Source Data**. В описываемом примере используется генератор шума Agilent 346B (номинальное значение ИОШТ 15 дБ).

В окне определения настроек анализатора спектра убедиться в правильности частотного диапазона измерения (1.575 – 0.675 ГГц) и установить значения для всех редактируемых параметров: **Input ATT** – 0 дБ, **REF Level** -50 дБм, **Low-Noise Amplifier** – ON, **LO IN Level** +17 дБм, **Dwell Time** 0.04 сек, **Number of Points** – 51, **Number of Averages** – 100, **RBW** – 3 МГц, **VBW** – 1 кГц. Нажать **NEXT**.

В окне редактирования входных потерь нажать **YES**, ввести значение вносимого ослабления для входного фильтра (3.80 дБ, без знака минус). Нажать **PROCEED**. В окне редактирования выходных потерь нажать **NO** и **PROCEED**. При появлении верификационного окна калибровки исключить из тракта объект измерения (связку МШУ и смеситель) и входной РЧ-фильтр. Оставить в тракте выходной ПЧ-фильтр. Затянуть все резьбовые коаксиальные соединения при помощи тарированного ключа. Нажать **CALIBRATE** и дождаться окончания калибровки.

По завершении процедуры калибровки, включить в тракт объект измерения и входной РЧ-фильтр. Затянуть все резьбовые коаксиальные соединения при помощи тарированного ключа. После подачи питания на МШУ на экране прибора будут отображены характеристики КШ и КП объекта измерения, как показано на рисунке 130. Следует обратить внимание, что на экране анализатора спектра КШ и КП конвертора всегда отображаются приведенными к частотам РЧ входа конвертора (несмотря на то, что фактическое измерение происходит на частотах ПЧ).

Принципы работы со стандартным программным меню КШ (конфигурирование окон измерения, масштабирование графиков, работа с маркерами и т.д.) при тестировании конверторов и при тестировании усилителей совершенно одинаковые (см. раздел 2.32.1).

2.32.2.3. Конфигурирование измерений апконверторов.

В данном разделе рассматривается структурная ветка программного обеспечения **Wizard**, относящаяся к конфигурированию измерений апконверторов. При этом основное внимание сосредоточено на ее отличительных особенностях по сравнению с веткой даунконверторов. Описание шагов конфигурирования, которые для даунконверторов и апконверторов являются одинаковыми, будет опущено.

Переход в структурную ветку тестирования апконверторов осуществляется нажатием программной клавиши **Upconverter** в диалоговом окне, показанном в разделе 2.32.2 на рисунке 118. При этом будет открыто диалоговое окно выбора режима гетеродина, изображенное на рисунке 131.

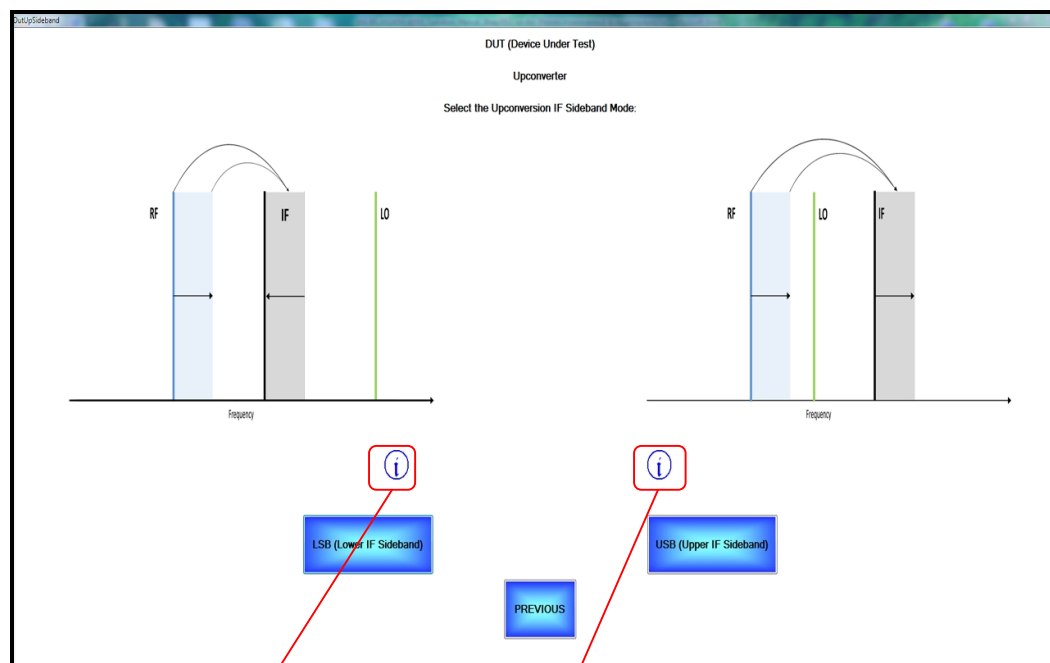
Рис. 131. Окно выбора режима гетеродина для апконвертора с переводом выпадающих подсказок.

Swept LO, Fixed IF The LO signal is provided by an external synthesizer which is swept across the specified range. The analyzer is locked at a fixed IF frequency.	Перестраиваемый гетеродин, фиксированная ПЧ. Сигнал гетеродина (LO) обеспечивается внешним синтезированным генератором сигналов, который перестраивается в заданной полосе частот. Анализатор спектра производит измерение на фиксированной частоте.
Fixed LO, Swept IF The LO signal is locked at a fixed frequency and is either provided by an external synthesizer or generated inside the DUT. The analyzer is swept across the IF frequency range.	Фиксированный гетеродин, перестраиваемая ПЧ. Сигнал гетеродина (LO) стоит на фиксированной частоте и обеспечивается либо внешним генератором сигналов, либо генерируется внутри объекта измерения. Анализатор перестраивается в заданной полосе частот.

В отличие от даунконверторов, для которых набор возможных сценариев для фиксированного и перестраиваемого гетеродина совершенно одинаковый, у апконверторов он - разный. Поэтому в зависимости от того, какой режим гетеродина выбирает пользователь, есть два варианта следующего диалогового окна. Если пользователь нажал программную клавишу **Fixed LO, Swept IF**, то будет открыто диалоговое окно, изображенное на рисунке 132.

В этом случае, в зависимости от режима частотного преобразования, который используется в тестируемом апконверторе с фиксированным гетеродином, пользователь для перехода в следующее окно программы **Wizard** должен нажать либо программную клавишу **LSB (Lower IF Sideband)**, либо программную клавишу **USB (Upper IF Sideband)**.

Рис. 132. Окно выбора режима частотного преобразования для апконвертора с фиксированным гетеродином с переводом выпадающих подсказок.



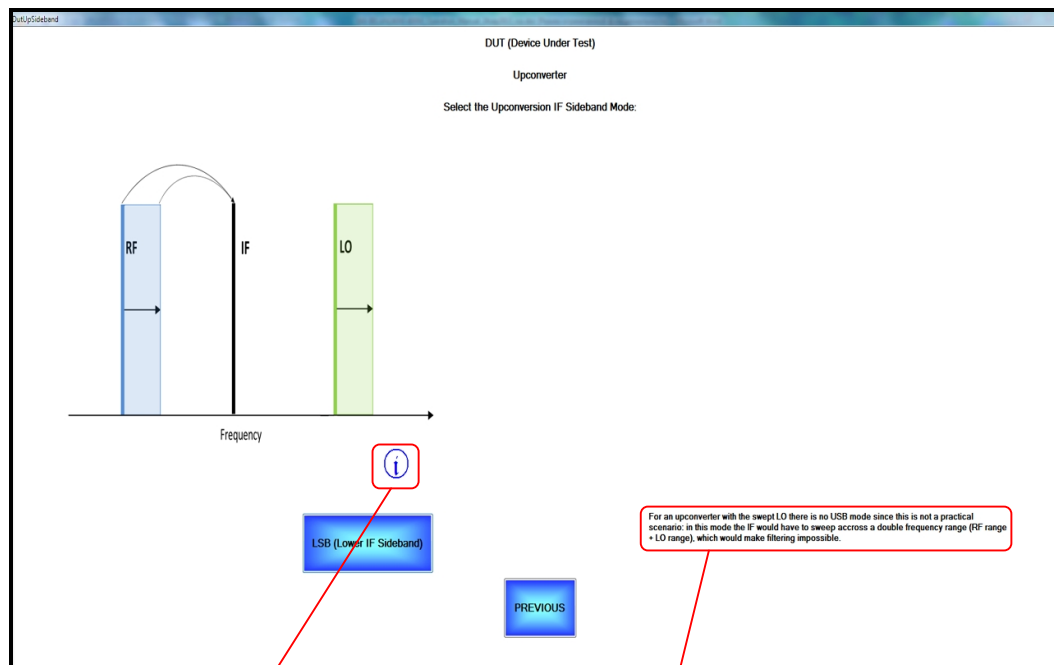
LSB (Lower IF Sideband) In the present noise figure measurement software the LSB mode for the upconverter is defined as the scenario where the IF range is lower than the LO range. The lower sideband refers to the IF signal for an upconverter (and not to the RF as in the downconverter case). However, always keep in mind that the noise source used for the noise figure measurements is usually a very broadband device and that some broadband upconverters may perform as downconverters as well. The desired LSB IF upconversion product can be defined as $LSB\ IF = LO - RF$. But it may happen that an unwanted downconversion product $RF - LO = \text{desired } LSB\ IF$ is also generated in the DUT. If the RF image (defined as $desired\ LSB\ IF + LO$) falls within the frequency range covered by the noise source and if the DUT is sufficiently broadband one must prevent this unwanted RF image from being downconverted to the LSB IF by appropriate filtering.	Режим LSB (режим нижней боковой полосы ПЧ) В рамках данного программного обеспечения режим нижней боковой полосы для апконвертора определяется как разновидность частотного плана, где диапазон IF (ПЧ) ниже, чем диапазон LO (гетеродина). Термин «нижняя боковая полоса» в случае апконвертора относится к сигналу IF (а не к сигналу RF, как в случае даунконвертора). Всегда следует учитывать, что ГШ – это сверхширокополосное устройство, а также тот факт, что некоторые широкополосные апконверторы могут работать еще и как даунконверторы. Полезный продукт апконверсии - сигнал $LSB\ IF$ – может быть определен как $LSB\ IF = LO - RF$. Однако может иметь место ситуация, когда на частоте $LSB\ IF$ дополнительно генерируется нежелательный продукт переноса вниз $RF - LO = LSB\ IF$. Если паразитный зеркальный канал по входу апконвертора (определяемый как $RF = LSB\ IF + LO$) находится в пределах диапазона ГШ, а объект измерения представляет собой достаточно широкополосное устройство, необходимо не допустить переноса на ПЧ указанного зеркального канала за счет аппаратной фильтрации.
USB (Upper IF Sideband) In the present noise figure measurement software the USB mode for the upconverter is defined as the scenario where the IF range is higher than the LO range. The upper sideband refers to the IF signal for an upconverter (and not to the RF as in the downconverter case). However, always keep in mind that the noise source used for the noise figure measurements is usually a very broadband device and that some broadband upconverters may perform as downconverters as well. The desired USB IF product can be defined as $USB\ IF = LO + RF$. But it may happen that an unwanted downconversion product $RF - LO = \text{desired } USB\ IF$ is also generated in the DUT. If the RF image (defined as $USB\ IF + LO$) falls within the frequency range covered by the noise source and if the DUT is sufficiently broadband one must prevent this unwanted RF image from being downconverted to the USB IF by appropriate filtering.	Режим USB (режим верхней боковой полосы ПЧ) В рамках данного программного обеспечения режим верхней боковой полосы для апконвертора определяется как разновидность частотного плана, где диапазон IF (ПЧ) выше, чем диапазон LO (гетеродина). Термин «верхняя боковая полоса» в случае апконвертора относится к сигналу IF (а не к сигналу RF, как в случае даунконвертора). Всегда следует учитывать, что ГШ – это сверхширокополосное устройство, а также тот факт, что некоторые широкополосные апконверторы могут работать еще и как даунконверторы. Полезный продукт апконверсии - сигнал $USB\ IF$ – может быть определен как $USB\ IF = LO + RF$. Однако может иметь место ситуация, когда на частоте $USB\ IF$ дополнительно генерируется нежелательный продукт переноса вниз $RF - LO = USB\ IF$. Если паразитный зеркальный канал по входу апконвертора (определяемый как $RF = USB\ IF + LO$) находится в пределах диапазона ГШ, а объект измерения представляет собой достаточно широкополосное устройство, необходимо не допустить переноса на ПЧ указанного зеркального канала за счет аппаратной фильтрации.

Если же пользователь в окне, показанном на рисунке 131, нажал программную клавишу **Swept LO, Fixed IF**, то будет открыто диалоговое окно, изображенное на рисунке 133. Как ясно из диалогового окна, показанного на рисунке 133, для апконвертора с перестраиваемым гетеродином возможным является только один режим частотного преобразования – режим нижней боковой полосы ПЧ, и переход в следующее окно программы **Wizard** может быть осуществлен только при помощи программной клавиши **LSB (Lower IF Sideband)**.

Все последующие окна программы **Wizard**, а именно: окно редактирования частот входного сигнала и гетеродина, окно информации о вспомогательных генераторах, окно выбора ГШ, окно определения

настроек анализатора, окно учета входных и выходных потерь, верификационное окно калибровки - для структурных ветвей тестирования апконверторов и даунконверторов не отличаются. Они были подробно рассмотрены выше (раздел 2.32.2.1, рисунки 121-128) и не описываются в данном разделе.

Рис. 133. Окно режима частотного преобразования для апконвертора с перестраиваемым гетеродином с переводом выпадающих подсказок.



LSB (Lower IF Sideband)

In the present noise figure measurement software the LSB mode for the upconverter is defined as the scenario where the IF range is lower than the LO range. The lower sideband refers to the IF signal for an upconverter (and not to the RF as in the downconverter case). However, always keep in mind that the noise source used for the noise figure measurements is usually a very broadband device and that some broadband upconverters may perform as downconverters as well. The desired LSB IF upconversion product can be defined as $LSB\ IF = LO - RF$. But it may happen that an unwanted downconversion product $RF - LO = \text{desired } LSB\ IF$ is also generated in the DUT. If the RF image (defined as $\text{desired } LSB\ IF + LO$) falls within the frequency range covered by the noise source and if the DUT is sufficiently broadband one must prevent this unwanted RF image from being downconverted to the $LSB\ IF$ by appropriate filtering.

For an upconverter with the swept LO there is no USB mode since this is not a practical scenario: in this mode the IF would have to sweep across a double frequency range ($RF\ range + LO\ range$), which would make filtering impossible.

Режим LSB (режим нижней боковой полосы ПЧ)

В рамках данного программного обеспечения режим нижней боковой полосы для апконвертора определяется как разновидность частотного плана, где диапазон IF (ПЧ) ниже, чем диапазон LO (гетеродина). Термин «нижняя боковая полоса» в случае апконвертора относится к сигналу IF (а не к сигналу RF, как в случае даунконвертора). Всегда следует учитывать, что ГШ – это сверхширокополосное устройство, а также тот факт, что некоторые широкополосные апконверторы могут работать еще и как даунконверторы. Полезный продукт апконверсии - сигнал $LSB\ IF$ – может быть определен как $LSB\ IF = LO - RF$. Однако может иметь место ситуация, когда на частоте $LSB\ IF$ дополнительно генерируется нежелательный продукт переноса вниз $RF - LO = LSB\ IF$. Если паразитный зеркальный канал по входу апконвертора (определяемый как $RF = LSB\ IF + LO$) находится в пределах диапазона ГШ, а объект измерения представляет собой достаточно широкополосное устройство, необходимо не допустить переноса на ПЧ указанного зеркального канала за счет аппаратной фильтрации.

Для апконвертора с перестраиваемым гетеродином режим верхней боковой полосы ПЧ (USB IF) на практике не используется: в этом режиме относительная перестройка по ПЧ является, по сравнению с частотными диапазонами RF и LO, двойной, что делает необходимую фильтрацию тяжело реализуемой.

2.32.2.4. Пример измерения апконвертора.

В качестве практического примера тестирования КШ и КП апконвертора рассмотрим измерение апконвертора с перестраиваемым гетеродином. В качестве объекта измерения мы имеем составной апконвертор со следующим частотным планом:

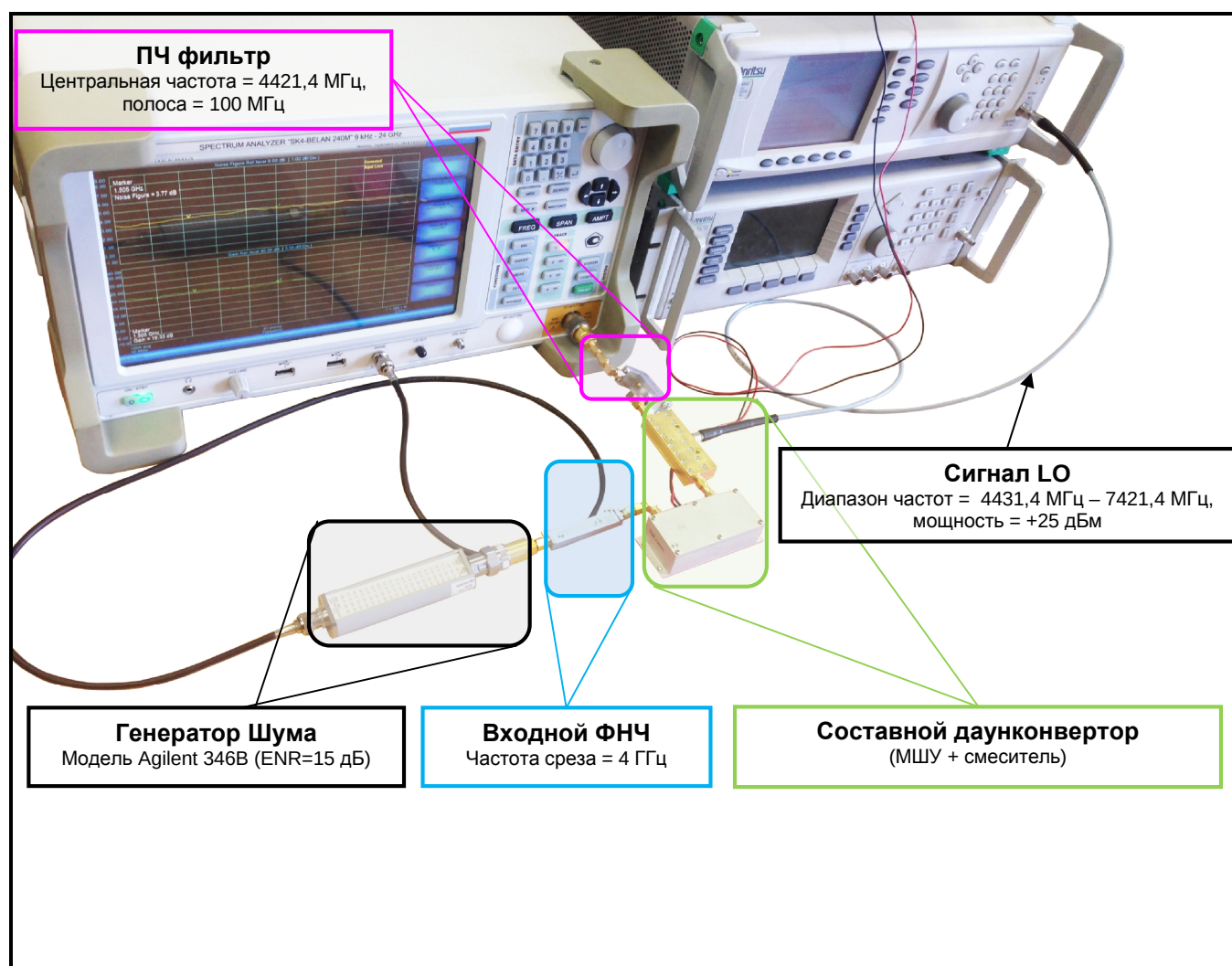
$$F_{RF} = 10\text{-}3000 \text{ МГц}$$

$$F_{LO} = 4431.4\text{-}7421.4 \text{ МГц}$$

$$F_{IF} = 4421.4 \text{ МГц}$$

Данный тип апконвертора называется «инфрадинным преобразователем частот» или «инфрадином». Структурно он состоит из входного ФНЧ для подавления зеркального канала (частота среза 4 ГГц, вносимые потери 3 дБ), МШУ (коэффициент усиления 30 дБ, коэффициент шума 3 дБ), смесителя (потери преобразования ~9 дБ) и ПЧ-фильтра (вносимые потери 1.5 дБ). Внешний вид конвертора показан на рисунке 134. В действительности этот инфрадинный преобразователь используется в приборах «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» с опцией 005. Сигнал перестраиваемого гетеродина подается от внешнего генератора Anritsu MG3694C/15B. Для выполнения измерения КШ и КП данного апконвертора необходимо выполнить следующую последовательность действий.

Рис. 134. Пример практической реализации тракта измерения инфрадинного апконвертора.

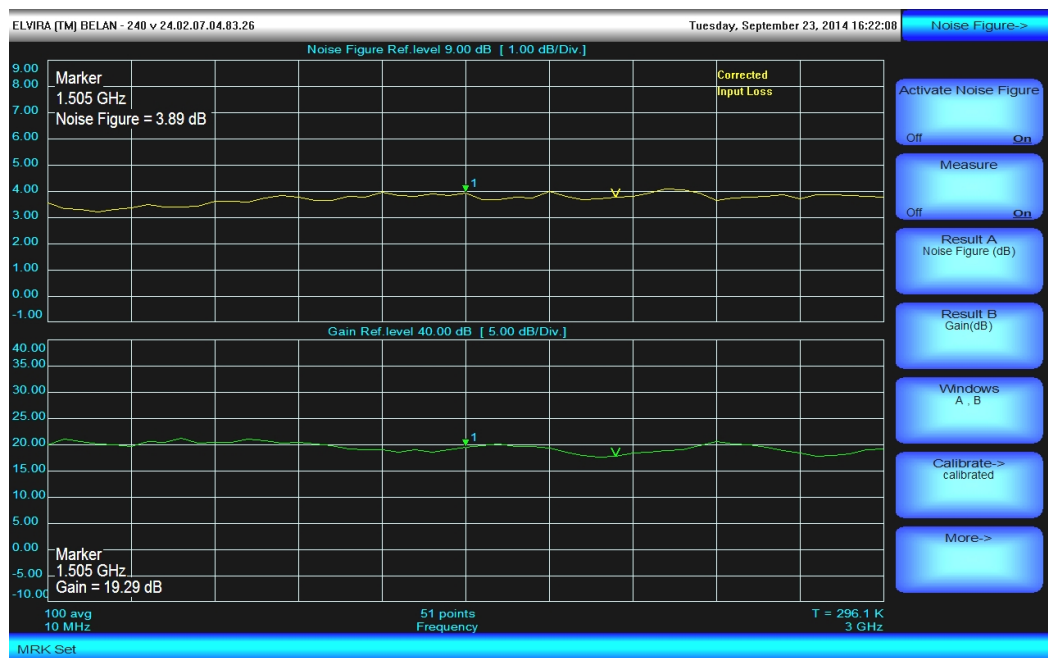


Нажать кнопку **MEAS** на передней панели прибора, затем программную клавишу **Power** и в появившемся программном меню, связанном с автоматическими амплитудными измерениями, программную клавишу **Noise Figure**. В появившемся окне программы **Wizard** нажать программную клавишу **PROCEED WITH THE**

WIZARD, затем последовательно – программные клавиши **CONVERTER**, **Upconverter**, **Swept LO**, **Fixed IF**, **LSB (Lower IF Sideband)**.

В диалоговом окне редактирования частотного плана ввести: начальную частоту **RF = 10 МГц**, конечную частоту **RF = 3000 МГц**, начальную частоту **LO = 4431.4 МГц**, конечную частоту **LO = 7421.4 МГц**. Программа **Wizard** автоматически рассчитывает значение ПЧ: **IF FIXED = 4421.4 МГц**.

Рис. 135. Результат измерения инфрадинного апконвертора.



В окне вспомогательных генераторов нажать **PROCEED** (предварительно убедившись в наличии соединения между анализатором и генератором при помощи соответствующего интерфейсного кабеля). В окне определения параметров ГШ загрузить файл ИОШТ для используемого источника шума при помощи программной клавиши **Load Noise Source Data**. В описываемом примере используется генератор шума Agilent 346B (номинальное значение ИОШТ 15 дБ).

В окне определения настроек анализатора спектра убедиться в правильности частотного диапазона измерения (4.4214 – 4.4214 ГГц) и установить значения для всех редактируемых параметров: **Input ATT** – 0 дБ, **REF Level** -50 дБм, **Low-Noise Amplifier** – ON, **LO IN Level** +25 дБм, **Dwell Time** 0.04 сек, **Number of Points** – 51, **Number of Averages** – 100, **RBW** – 3 МГц, **VBW** – 1 кГц. Нажать **NEXT**.

В окне редактирования входных потерь нажать **YES**, ввести значение вносимого ослабления для входного фильтра нижних частот (3.00 дБ, без знака минус). Нажать **PROCEED**. В окне редактирования выходных потерь нажать **NO** и **PROCEED**. При появлении верификационного окна калибровки исключить из тракта объект измерения (связку МШУ и смеситель) и входной ФНЧ. Оставить в тракте выходной ПЧ-фильтр. Затянуть все резьбовые коаксиальные соединения при помощи тарированного ключа. Нажать **CALIBRATE** и дождаться окончания калибровки.

По завершении процедуры калибровки, включить в тракт объект измерения и входной ФНЧ. Затянуть все резьбовые коаксиальные соединения при помощи тарированного ключа. На экране прибора будут отображены характеристики КШ и КП объекта измерения, как показано на рисунке 135. Следует обратить внимание, что на экране анализатора спектра КШ и КП конвертора всегда отображаются приведенными к частотам РЧ входа конвертора (несмотря на то, что фактическое измерение происходит на фиксированной частоте ПЧ при синхронной перестройке частоты вспомогательного генератора).

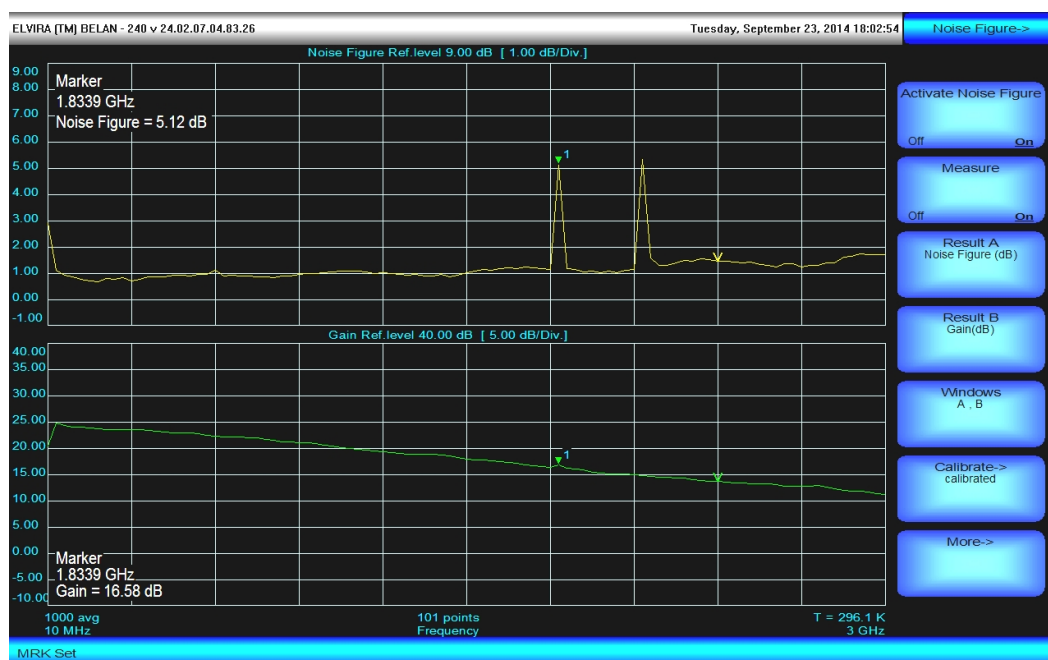
Принципы работы со стандартным программным меню КШ (конфигурирование окон измерения, масштабирование графиков, работа с маркерами и т.д.) при тестировании конверторов и при тестировании усилителей совершенно одинаковые (см. раздел 2.32.1).

2.32.3. Практические рекомендации для повышения точности измерений коэффициента шума.

Рассмотрев основные возможности программного обеспечения СК4-БЕЛАН 240М/400М по измерению коэффициента шума и коэффициента передачи усилителей и конверторов методом Y-фактора, еще раз приведем ряд практических советов для получения максимально достоверных результатов измерения.

1) Необходимо правильно выбирать источник шума. На сегодняшний день на рынке представлены источники шума с номинальным значением ИОШТ в 6дБ (например, Agilent 346A или Micronetics NS346A) и в 15дБ (например, Agilent 346B, 346C и аналогичные Micronetics NS346B, NS346C, NS346Ka). 6-децибельные источники, в отличие от 15-децибельных, имеют встроенный аттенюатор, что позволяет существенно уменьшить погрешности, связанные с рассогласованием между выходом источника и входом объекта измерения, а также скачки сопротивления между выключенным и включенным состоянием ГШ. Поэтому источники типа 346A (NS346A) предпочтительнее использовать для тестирования устройств с малым коэффициентом шума, а также для тестирования устройств, которые особенно чувствительны к изменению сопротивления на входе. Однако при тестировании СВЧ усилителей с невысоким значением комбинации усиления и вносимого шума (порядка 15-20 дБ) больший вес в остаточной неопределенности измерения приобретает эффект второго каскада - собственный коэффициент шума анализатора спектра. Для точного определения собственного КШ анализатора на этапе калибровки прибор должен четко детектировать «горячее» состояние источника шума (уверенно отличать его от «холодного»). С увеличением частоты, из-за неизбежного роста собственного КШ анализатора спектра, значение Y-фактора при калибровке может начать приближаться к 1, что ведет к ошибке определения действительного значения КШ второго каскада (см. формулу 2.32.19 в разделе 2.32). В такой ситуации для уверенного различения «горячего» и «холодного» состояния ГШ может оказаться предпочтительным использовать источник с ИОШТ 15 дБ (или даже 20 дБ, например Micronetics NS346E). Худшее согласование таких ГШ можно компенсировать прецизионными аттенюаторами или вентилями, коэффициент передачи которых измеряется и затем учитывается в таблицах потерь на входе тестируемого устройства. Всегда проверяйте, соответствует ли используемая прибором таблица значений ИОШТ действительной градуировке генератора шума.

Рис. 136. Паразитные сигналы GSM1800 и UMTS на графике коэффициента шума (101 точка).



2) В идеальном случае, во время калибровки ГШ должен подключаться непосредственно ко входу анализатора; во время измерения ГШ должен подключаться непосредственно ко входу объекта измерения, а выход объекта – непосредственно ко входу анализатора. Помните, что нельзя соединять выход ГШ (разъем с дюймовой резьбой) с входом объекта измерения, который имеет метрическую резьбу. В подобных случаях используйте переходы. Если используются переходы, то они должны быть высокого качества (иметь КСВН <1.1 и вносимое ослабление <0.05 дБ в заданной полосе частот). Если пользователь

имеет возможность точно охарактеризовать потери в кабельных сборках, их необходимо учесть при измерениях, воспользовавшись соответствующими функциями программного обеспечения «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М». Те элементы тракта, которые используются между выходом ГШ и входом анализатора во время калибровки, при измерении должны стоять после объекта измерения. В разделах 2.32.1 и 2.32.2. рассматриваются ситуации, когда при измерении между ГШ и тестируемым устройством в обязательном порядке должна быть включена дополнительная цепь (например, фильтр в случае конверторов или вентиль для улучшения согласования – в случае усилителей). В таких ситуациях дополнительные элементы тракта (фильтры, аттенюаторы, вентили), не включаются в тракт на этапе калибровки. Они характеризуются отдельно (при помощи векторного анализатора цепей или трекинг-генератора в «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М») и учитываются математически как потери входа.

3) Всегда старайтесь уменьшить амплитудный джиттер, насколько это позволяют соображения необходимой скорости измерения, увеличивая соотношение ФПЧ/фильтр видео, а также выполняя измерения с максимальным количеством усреднений в точке (≥ 100). При этом помните, что используемый фильтр полосы пропускания ПЧ должен быть всегда уже полосы рабочих частот объекта измерения.

4) Используйте только резьбовые разъемы, кабели только с хорошей экранировкой, избегайте измерений, где объект измерения представляет собой открытую плату. При возникновении искажений на графике коэффициента шума (аномальных пиков, «зубцов»), проверьте наличие паразитных излучений на данных частотах, воспользовавшись штатными возможностями анализатора спектра. Если паразитные излучения действительно присутствуют в эфире (рисунок 136), то их можно не учитывать в процессе измерения (например, установив, меньшее количество точек, где паразитная частота попадет между измерительными точками).

5) При измерениях конверторов всегда тщательно анализируйте частотный план конвертора и внимательно выбирайте тип преобразователя, режим гетеродина и режим преобразования при конфигурировании измерения в программе **Wizard**. Если частоты входного сигнала и гетеродина разнесены на оси частот далеко друг от друга (используется высокая ПЧ), при конфигурировании измерения выбирайте режим одиночной боковой полосы (SSB). Но помните при этом, что необходимым условием достоверных SSB измерений является достаточная фильтрация паразитных продуктов частотного преобразования: зеркального канала, продуктов преобразования на гармониках гетеродина, «пролаза» гетеродина на ПЧ – то есть физическое наличие соответствующих фильтров. При близко расположенных частотах сигнала и гетеродина и низких значениях ПЧ в даунконверторах используйте режим двойной боковой полосы. Когда в измерениях устройств с переносом частоты используется вспомогательный генератор, следите за тем, чтобы это был генератор с достаточно низким значением собственного фазового шума при отстройке от сигнала гетеродина на частоту ПЧ. Способ оценки допустимого уровня фазового шума для вспомогательного генератора дан в разделе 2.32.2.

6) Принимайте в расчет температурные изменения в помещении и соответствующим образом корректируйте физическое значение **T_{COLD}**, используемое анализатором спектра в расчетах. При колебаниях температуры проводите калибровку непосредственно перед измерением, чтобы свести к минимуму дополнительные ошибки в определении коэффициента передачи.

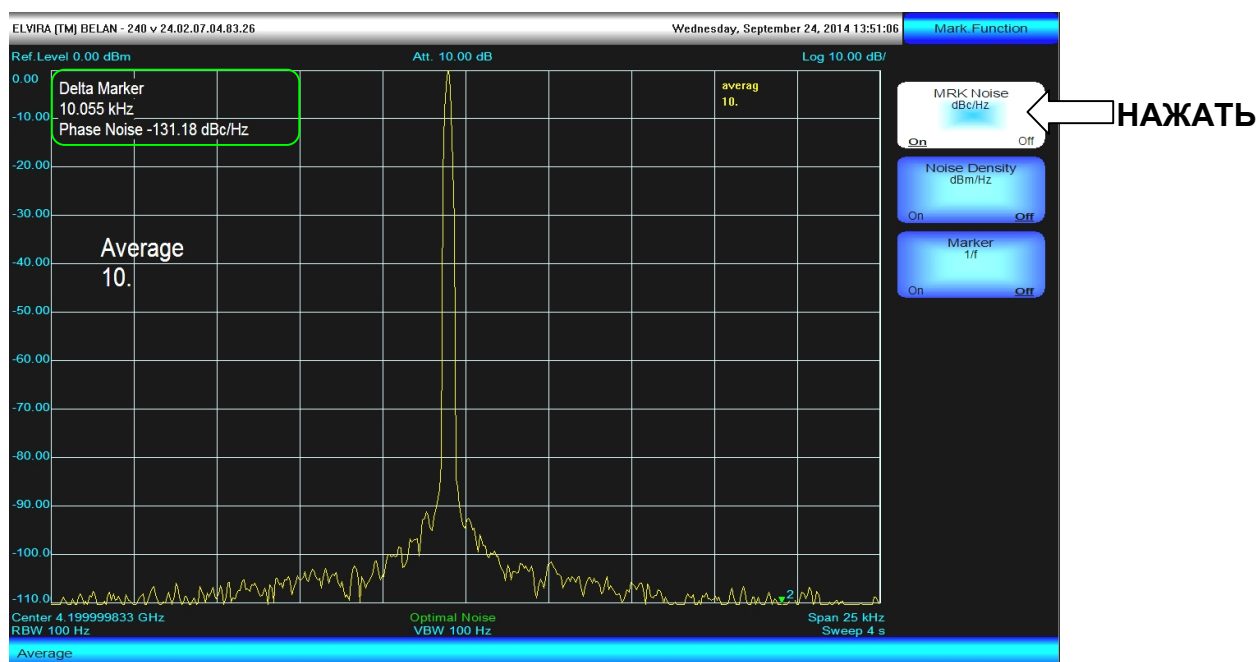
7) Старайтесь по возможности минимизировать все известные источники погрешностей, а также максимально точно учесть остаточную неопределенность измерения. Для учета остаточной неопределенности пользуйтесь калькулятором неопределенности, интегрированным в программу **Wizard**.

2.33. Измерение фазовых шумов

В анализаторах спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» реализовано два способа измерения фазовых шумов. Первый способ представляет собой измерение фазового шума при помощи дельта-маркера на фиксированной отстройке от сигнала - в точке. Этот способ является стандартной функцией прибора и не требует наличия в приборе дополнительных опций. Второй способ реализуется при помощи специального программного обеспечения (программная опция 003 или программно-аппаратная опция 030) и заключается в автоматическом измерении и представлении спектральной плотности мощности фазового шума (СПМ ФШ) как функции отстройки от несущей частоты, когда диапазон отстроек выводится в логарифмическом масштабе. В обоих случаях СПМ ФШ измеряется в одиночной боковой полосе, и пересчитывается в полосу 1 Гц.

Для измерения СПМ ФШ на фиксированной отстройке от несущей частоты необходимо выполнить следующие действия. Настроиться на исследуемый сигнал (в примере на рисунке 137 – это сигнал с частотой 4.2 ГГц). Установить такое значение полосы обзора, чтобы в нее попадала интересующая отстройка и отстояла от несущей хотя бы на одну клетку (например, для измерения СПМ ФШ на отстройке 10 кГц удобна полоса обзора 25 кГц). Последовательно нажать кнопки **SEARCH**, **MRK**, затем программную клавишу **Delta**. При помощи рукоятки плавной регулировки данных (или вводом нужного цифрового значения с клавиатуры) переместить дельта-маркер на требуемую отстройку. Нажать кнопку **MRK FUNCT** и программную клавишу **MRK Noise**. Нажать кнопку **BW**, программную клавишу **Average**, ввести 10 усреднений. В верхнем левом углу экрана будет выведено значение СПМ ФШ, приведенное к полосе 1 Гц (см. рисунок 137).

Рис. 137. Измерение СПМ ФШ на отстройке 10 кГц от несущей 4.2 ГГц при помощи дельта-маркера (вертикальный масштаб 110 дБ).



При измерении фазовых шумов важным фактором, который может оказывать влияние на достоверность измерений, является выбор детектора. Если при измерении используется соотношение полосы обзора к полосе пропускания меньше, чем 300:1, все детекторы будут давать близкие результаты (за исключением детектора минимальных значений, который ошибочно занижает уровень шумов). Таким образом, для соотношений полосы обзора к ФПЧ <300:1 можно использовать любой детектор, кроме минимального.

Однако, если полоса пропускания при измерении сужается (соотношение полосы обзора к ФПЧ становится >300:1), то наилучшим решением будет использование детектора выборки (детектора случайных значений). Этот тип детектора наиболее близко воспроизводит природу случайных процессов и, в сочетании с соответствующим количеством усреднений, он обеспечит наиболее достоверные и повторяемые измерения СПМ ФШ. Важным свойством детектора выборки является то, что он дает последовательно одинаковые

результаты измерения СПМ ФШ при пошаговом сужении полосы пропускания, в то время как остальные детекторы (максимальных значений, СКЗ, а также нормальный детектор) при сужении ФПЧ будут ошибочно завышать показания СПМ ФШ.

Рис. 138. Измерение СПМ ФШ на отстройке 10 кГц от сигнала 10.2 ГГц с использованием ФПЧ=100 Гц и детектора выборки (вертикальный масштаб = 110 дБ).

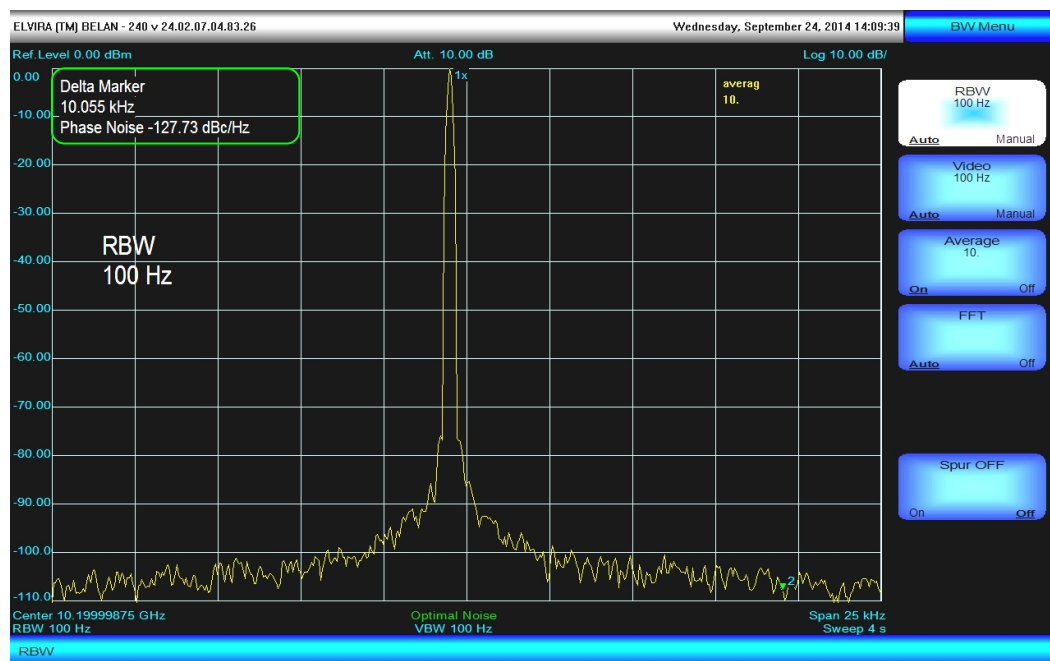
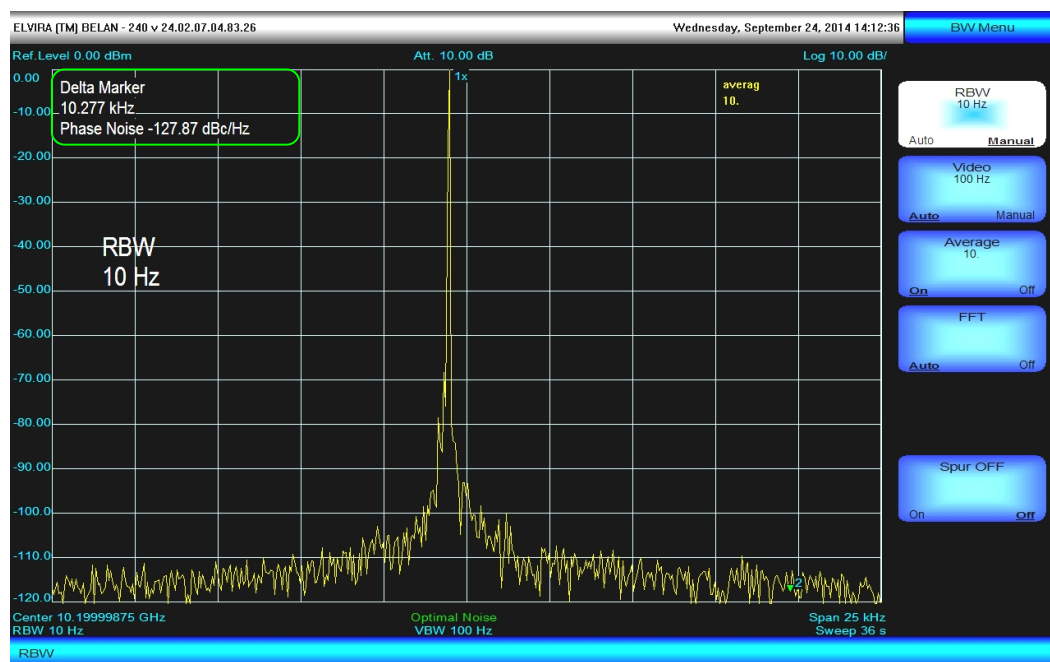


Рис. 139. Измерение СПМ ФШ на отстройке 10 кГц от сигнала 10.2 ГГц с использованием ФПЧ=10 Гц и детектора выборки (вертикальный масштаб = 120 дБ).



На рисунках 138, 139 и 140 показаны измерения СПМ ФШ сигнала с частотой 10.2 ГГц с помощью детектора выборки при последовательном сужении полосы пропускания со 100 Гц до 10 Гц и затем до 1 Гц. Вертикальный масштаб при этом последовательно увеличивался со значения в 110 дБ до 120 дБ и затем до 130 дБ, соответственно. Как видно из представленных графиков, расхождения в измеренном значении СПМ

ФШ не превышают 0.5 дБ, что является приемлемой величиной для измерений фазовых шумов. Малая дисперсия результатов достигается при использовании соответствующего количества усреднений.

Рис. 140. Измерение СПМ ФШ на отстройке 10 кГц от сигнала 10.2 ГГц с использованием ФПЧ=1 Гц и детектора выборки (вертикальный масштаб = 130 дБ).

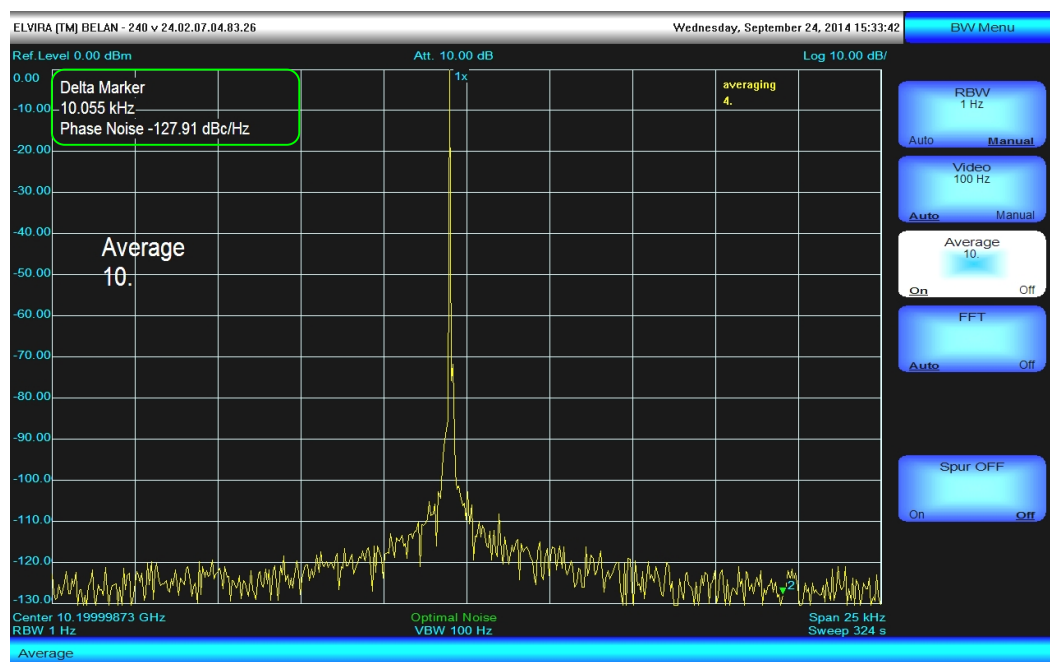
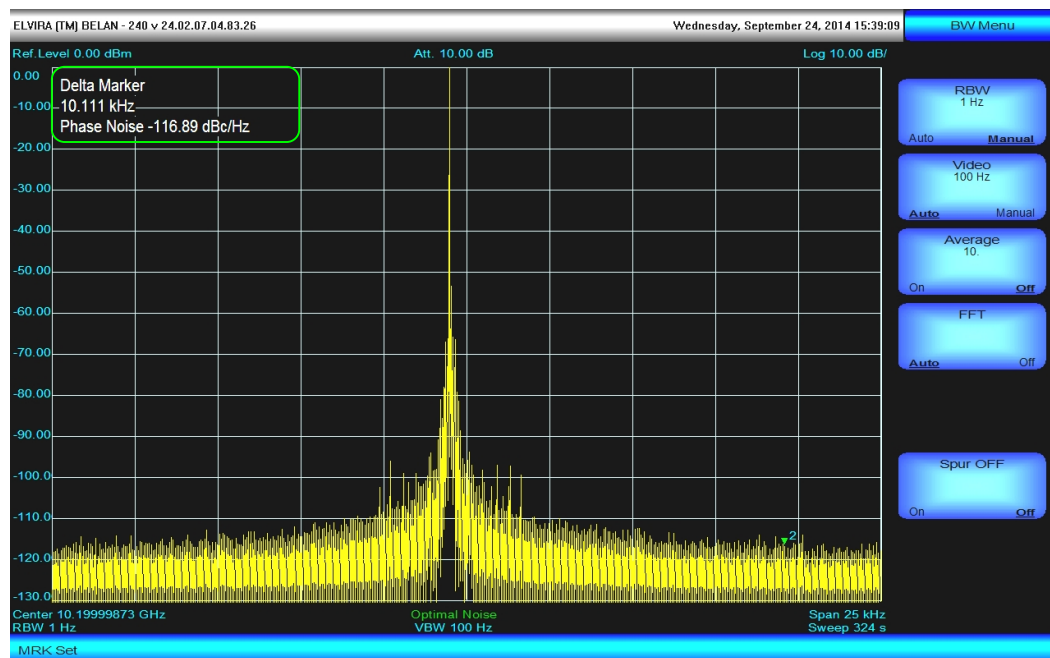


Рис. 141. Измерение СПМ ФШ на отстройке 10 кГц от сигнала 10.2 ГГц с использованием ФПЧ=1 Гц и нормального детектора (вертикальный масштаб = 130 дБ).

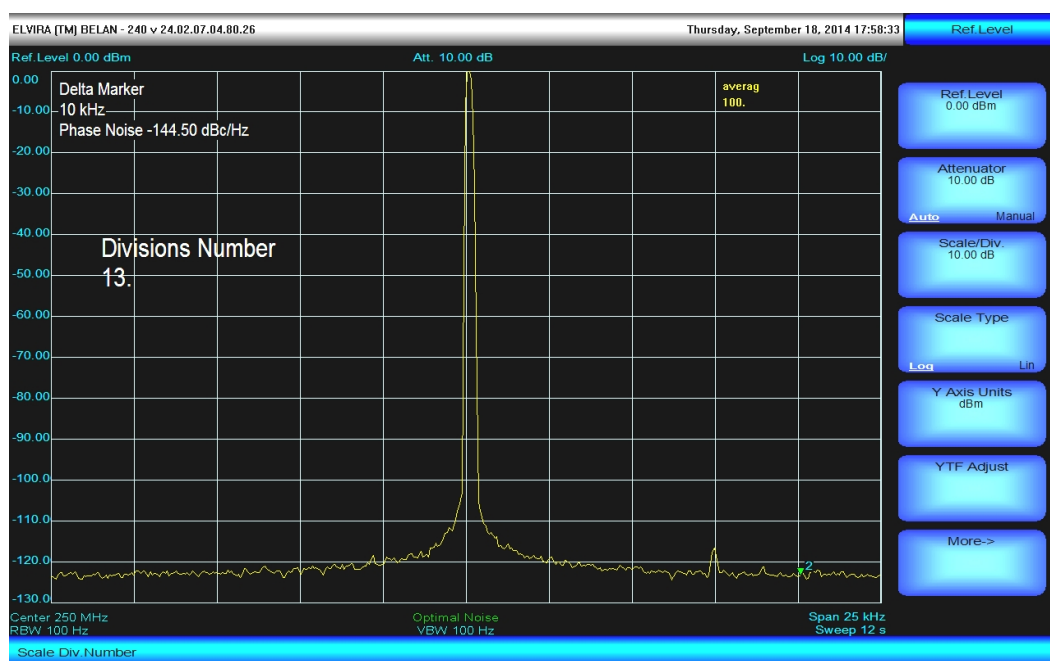


Сравните результат измерения СПМ ФШ на рисунках 140 и 141. Оба измерения были выполнены на одном и том же сигнале, при использовании идентичных настроек ФПЧ, входного тракта и логарифмической шкалы. При этом использование нормального детектора на рисунке 141 приводит к ошибке в измерении СПМ ФШ >10 дБ. Недостатком детектора выборки является то, что он может пропускать дискретные сигналы, присутствующие на фоне шумов. Если необходимо измерять фазовый шум и одновременно наблюдать

побочные спектральные составляющие (ПСС) в спектре исследуемого сигнала, следует использовать нормальный или пиковый детектор, но при этом сохранять соотношение полосы обзора к полосе пропускания <300:1.

Анализаторы «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» поддерживают специальную программно-аппаратную опцию 030. Данная опция представляет собой специализированный встроенный аппаратный модуль, который позволяет существенно снизить СПМ ФШ первого гетеродина анализатора, а также его ПСС в диапазоне частот до 3 ГГц. Активация данной опции осуществляется при помощи программной клавиши **Low Phase Noise** в дополнительном меню контроля амплитудных параметров. Активация данной опции возможна для полос обзора ≤ 15 МГц. На рисунке 142 показано измерение на «СК4-БЕЛАН 240М» с опцией 030 в масштабе 130 дБ на экран фазового шума генератора Rohde-Schwarz SMA100A/B103/B22 на частоте 250 МГц при помощи дельта-маркера. Очевидно, что результирующий СПМ ФШ гетеродинов анализатора с опцией 030 более чем на 15 дБ превосходит спецификацию по фазовому шуму базовой версии прибора.

Рис. 142. Измерение фазовых шумов сверхчистого сигнала на частоте 250 МГц при помощи дельта-маркера на «СК4-БЕЛАН 240М» с опцией 030 (типовой результат).



Ниже рассматривается измерение СПМ ФШ при помощи программной опции 003, которая является составной частью опции 030. Для входа в программное меню опции 003 следует нажать кнопку **MEAS**, а затем программные клавиши **Power** и **Phase Noise->**. Состав основного программного меню опции 003 показан на рисунке 143, дополнительного – на рисунке 144.

ВНИМАНИЕ:

Для выполнения автоматических измерений СПМ ФШ как функции отстройки от несущей частоты, в анализаторе спектра должна быть установлена опция 003 или опция 030. Опция 003 является составной частью программно-аппаратной опции 030.

Перед автоматическим измерением фазового шума следует выполнить ряд общих настроек прибора. Следует установить опорный уровень равным амплитуде исследуемого сигнала. Измерения СПМ ФШ можно проводить при амплитуде входного сигнала от -10 дБм до +30 дБм. Входные сигналы большего уровня выведут из строя входные каскады анализатора. Входные сигналы с меньшим уровнем будут измеряться при пониженной чувствительности к фазовому шуму, поскольку тепловые шумы прибора (обусловленные собственным коэффициентом шума анализатора) начнут приближаться к фазовым шумам объекта измерения и к фазовым шумам собственных гетеродинов анализатора.

Рис. 143. Основное программное меню опции 003 (измерение СПМ ФШ).

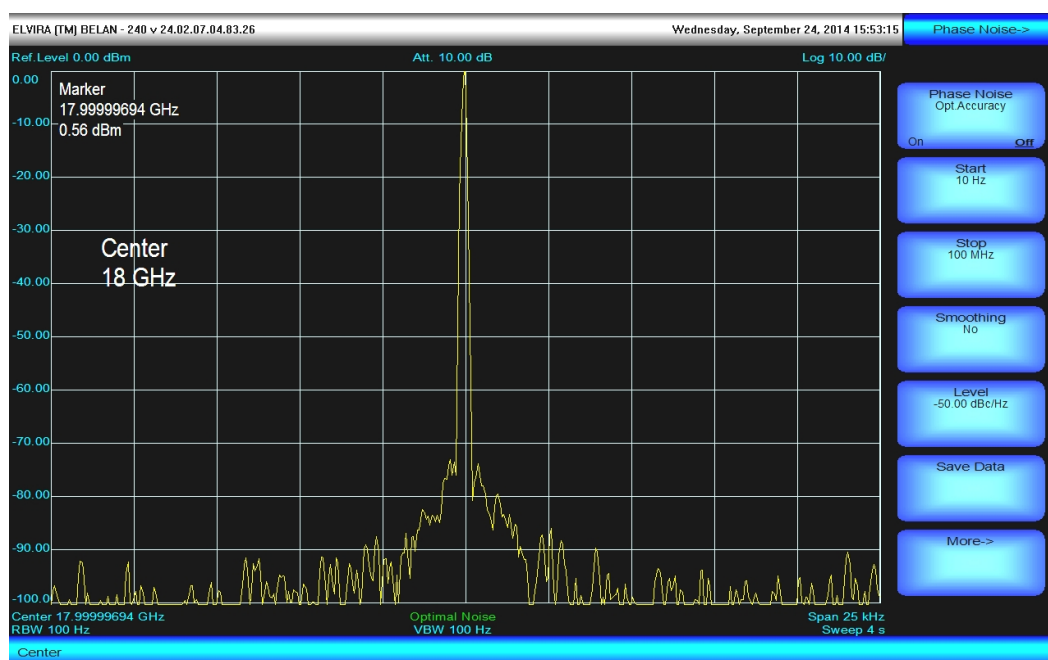
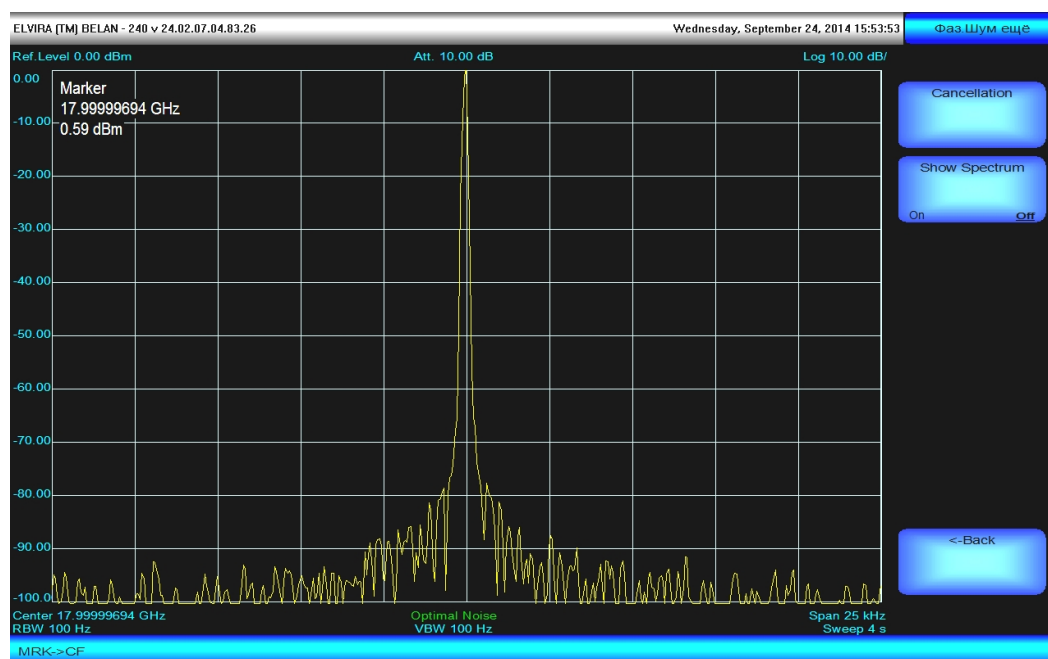


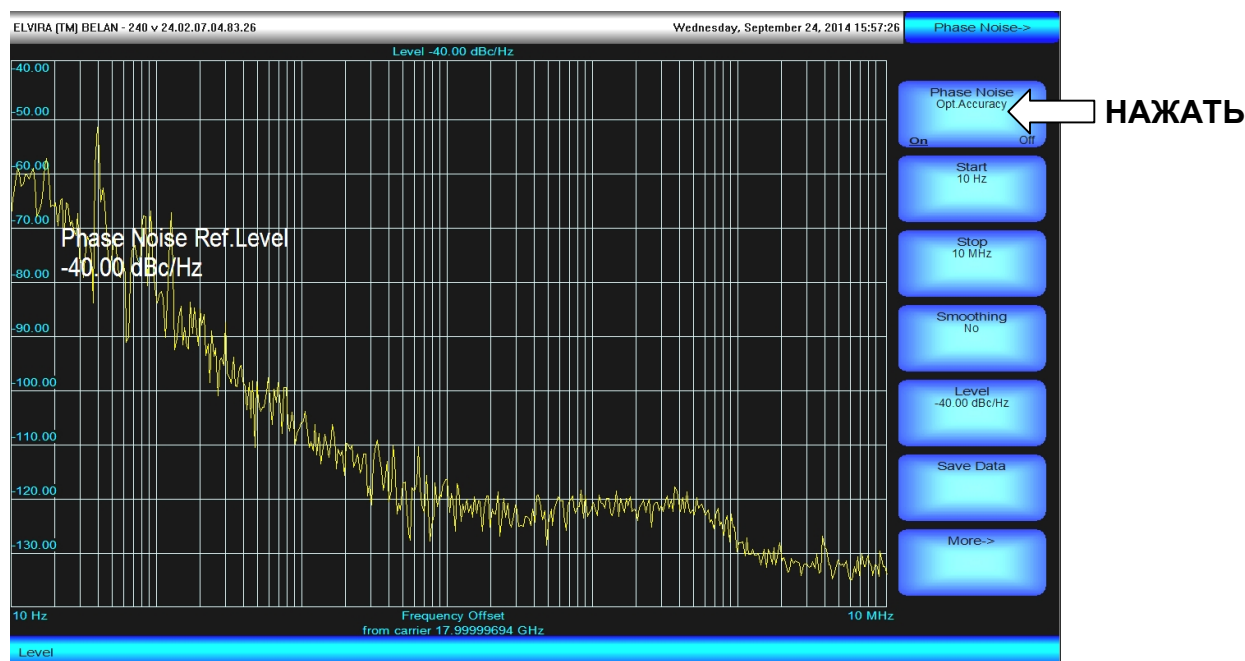
Рис. 144. Дополнительное программное меню опции 003 (измерение СПМ ФШ).



Далее следует проверить, что входной тракт анализатора работает в режиме оптимального шума (Optimal Noise). Установить значение входного аттенюатора, фильтра ПЧ и фильтра видео, а также время развертки в положение по умолчанию. При автоматическом измерении фазового шума выбор детектора обычно не является проблемой, поскольку в автоматическом режиме анализатор проводит измерения всегда при соотношении полосы пропускания к ФПЧ $<300:1$. Тем не менее, нужно убедиться, что не используется детектор минимальных значений. Предпочтительным является выбор детектора случайных значений. После этого необходимо настроиться на исследуемый сигнал, последовательно сужая полосу обзора, пока она не достигнет значения ≤ 10 МГц. Установить при помощи маркера сигнал по центру экрана. Если ожидается, что исследуемый сигнал имеет низкий фазовый шум, может оказаться целесообразным увеличить количество вертикальных делений масштабной сетки (до 11 или 12 делений). В основном программном меню опции

измерения фазового шума установить нужные значения начальной и конечной отстройки при помощи программных клавиш **Start** и **Stop**. При помощи программной клавиши **Level** установить значение опорного уровня для графика СПМ ФШ. В рамках программы измерения СПМ ФШ опорный уровень - это значение с размерностью dBc/Hz (децибел относительно сигнала, приведенный к полосе 1 Гц), которое присваивается верхней линии масштабной сетки. Автоматическое измерение СПМ ФШ запускается нажатием на программную клавишу **Phase Noise**.

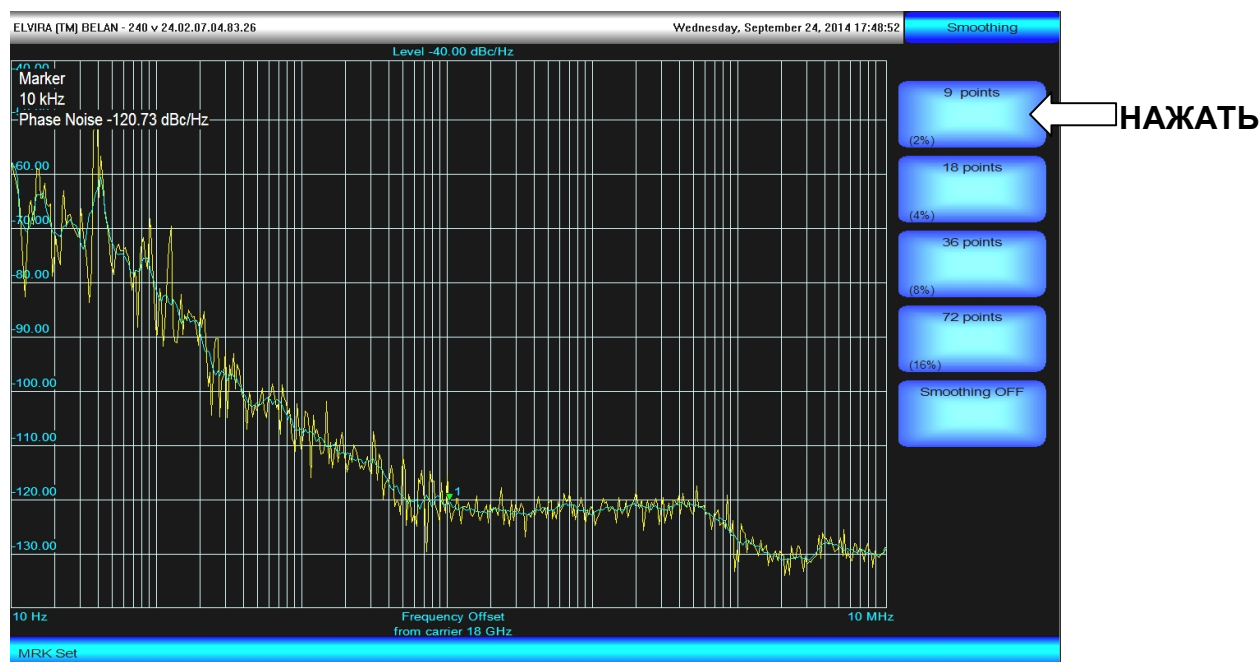
Рис. 145. Результат измерения СПМ ФШ спектрально чистого сигнала 18 ГГц.



Алгоритм автоматического измерения СПМ ФШ приборами «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» заключается в определении относительного уровня шумов при плавном смещении окна анализа в зону дальних отстроек от действительной частоты сигнала. При этом происходит постепенное увеличение значений полос обзора и пропускания. Если автоматическое измерение СПМ ФШ выполняется для сигнала с частотой выше 3 ГГц, то измерение относительной мощности шума предваряется процедурой автоматической настройки ЖИГ-преселектора на центр полосы пропускания. Если несущая частота ниже 3 ГГц, эта процедура пропускается. После этого анализатор спектра уточняет действительное значение частоты сигнала, настраиваясь на сигнал при последовательном сужении полосы обзора. Операции настройки преселектора и уточнения частоты несущей выполняются в режиме обычного отображения спектра. По завершении указанных операций прибор по умолчанию переключается в специальный режим отображения, где график СПМ ФШ рисуется вдоль логарифмической оси частотных отстроек. При этом пользователь наблюдает процесс построения этого графика. Результат измерения СПМ ФШ тестового спектрально чистого сигнала 18 ГГц показан на рисунке 145. Пользователь может также наблюдать не процесс построения графика, а промежуточные измерения шума во всем диапазоне заданных отстроек - в режиме обычного отображения спектра. Для этого перед запуском автоматического измерения в дополнительном программном меню фазового шума следует нажать программную клавишу **Show Spectrum** (см. рисунок 144). В этом случае по завершении цикла промежуточных измерений построенный график СПМ ФШ будет выведен сразу целиком.

Есть ряд способов постобработки графика СПМ ФШ, которые позволяют улучшить визуализацию измеренного результата. Например, можно уменьшить дисперсию графика СПМ ФШ, используя функцию сглаживания. Доступ к функции сглаживания обеспечивается через программную клавишу **Smoothing** в основном меню ФШ. Есть четыре варианта сглаживания: по 9 соседним точкам (2%), 18 точкам (4%), 36 точкам (8%) и 72 точкам (16%). Выбор необходимого коэффициента сглаживания осуществляется нажатием на соответствующую программную клавишу (см. рисунок 146). По умолчанию сглаживание не используется. Применение сглаживания наиболее информативно в режиме наложения двух графиков. На рисунке 146 желтый график – это исходный «сырой» график с реальной шумовой дисперсией, а голубой график – это исходный график с применением сглаживания 2%.

Рис. 146. Исходный измеренный график СПМ ФШ (желтый) с наложением сглаженного графика (голубой).



Для выполнения наложения графиков, как в примере на рисунке 146, нужно нажать кнопку «3» (либо любую другую кнопку, отвечающую за управление графиком и отличную от «1») в секции клавиш для управления графиками. Это активирует новый график соответствующего цвета (в данном примере – голубого), который будет выведен поверх исходного. Затем следует вернуться в основное меню ФШ и при помощи программной клавиши **Smoothing** установить для нового графика нужный коэффициент сглаживания. Эти изменения не коснутся исходного графика, который по-прежнему будет отображаться на экране. Поскольку активным будет второй подключенный график (сглаженный), маркерные измерения будут относиться уже к нему. Если удалить второй график, то активированная функция сглаживания будет автоматически применена к исходному графику.

Маркерные измерения на графике СПМ ФШ выполняются в соответствии с разделом 2.19. Исключением является функция дельта-маркера, отвечающая за относительные измерения. Поскольку в программном обеспечении измерения ФШ построенный график уже является величиной относительной, дельта-маркер применять к нему не целесообразно. Для считывания значения СПМ ФШ на интересующей пользователя отстройке следует нажать кнопку **MRK** и при помощи рукоятки плавной регулировки данных переместить маркер в нужную точку графика. Значение СПМ ФШ в данной точке графика будет выведено в левом верхнем углу экрана (см. рисунок 146). Если на экран нужно одновременно вывести значения нескольких маркеров, следует при помощи программной клавиши **MRK Set** активировать необходимое количество маркеров, расставить их на графике СПМ ФШ при помощи рукоятки плавной регулировки данных и затем включить таблицу маркеров (см. рисунок 147). Когда на экран было выведено несколько графиков, вертикальное перемасштабирование при включении таблицы маркеров будет применяться только к активному графику.

Программная клавиша **Save Data** в основном программном меню ФШ позволяет сохранить данные измерения на съемный накопитель информации или встроенный жесткий диск для последующего анализа или документирования. Данные сохраняются в текстовый файл с расширением txt, который состоит из двух колонок цифр (см. рисунок 148), где первая колонка – это значение отстройки в Гц, а вторая – значение СПМ ФШ в дБн/Гц. Для сохранения файла используется стандартная процедура Windows. При сохранении данных сохраняется только активный график, именно в том виде, в каком он выведен на экране прибора (без обработки, с применением функции сглаживания, с применением функции вычитания).

Рис. 147. Сглаженный график СПМ ФШ с активированной таблицей маркеров.

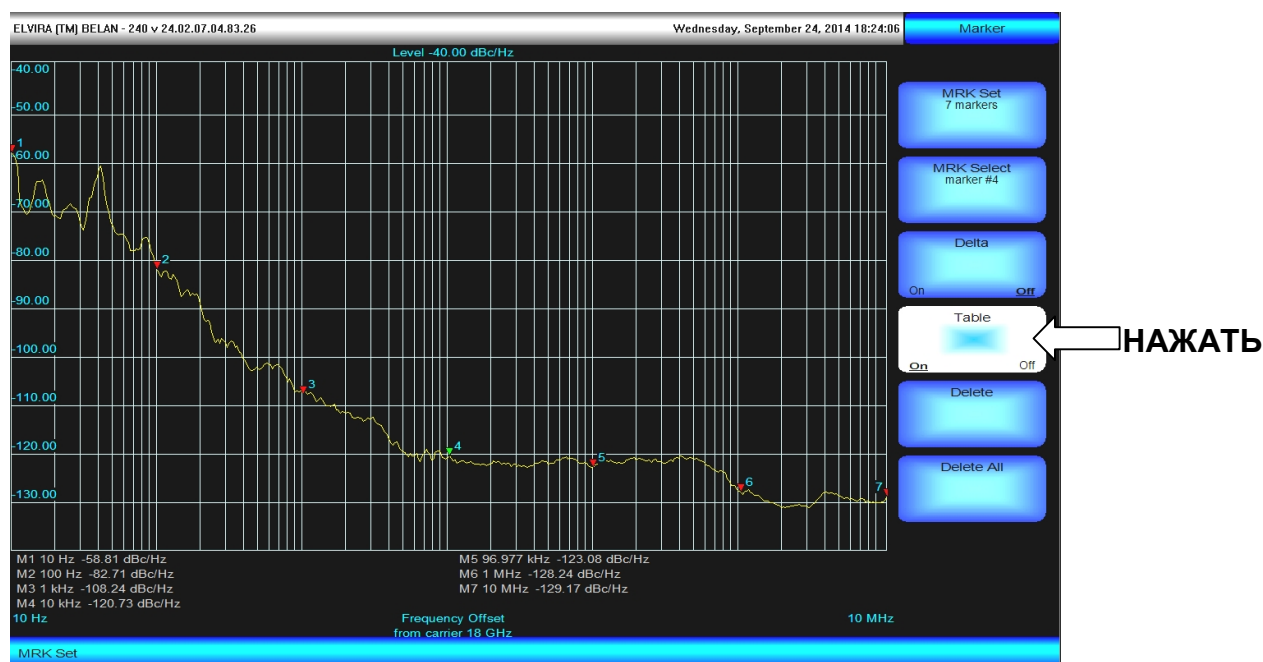
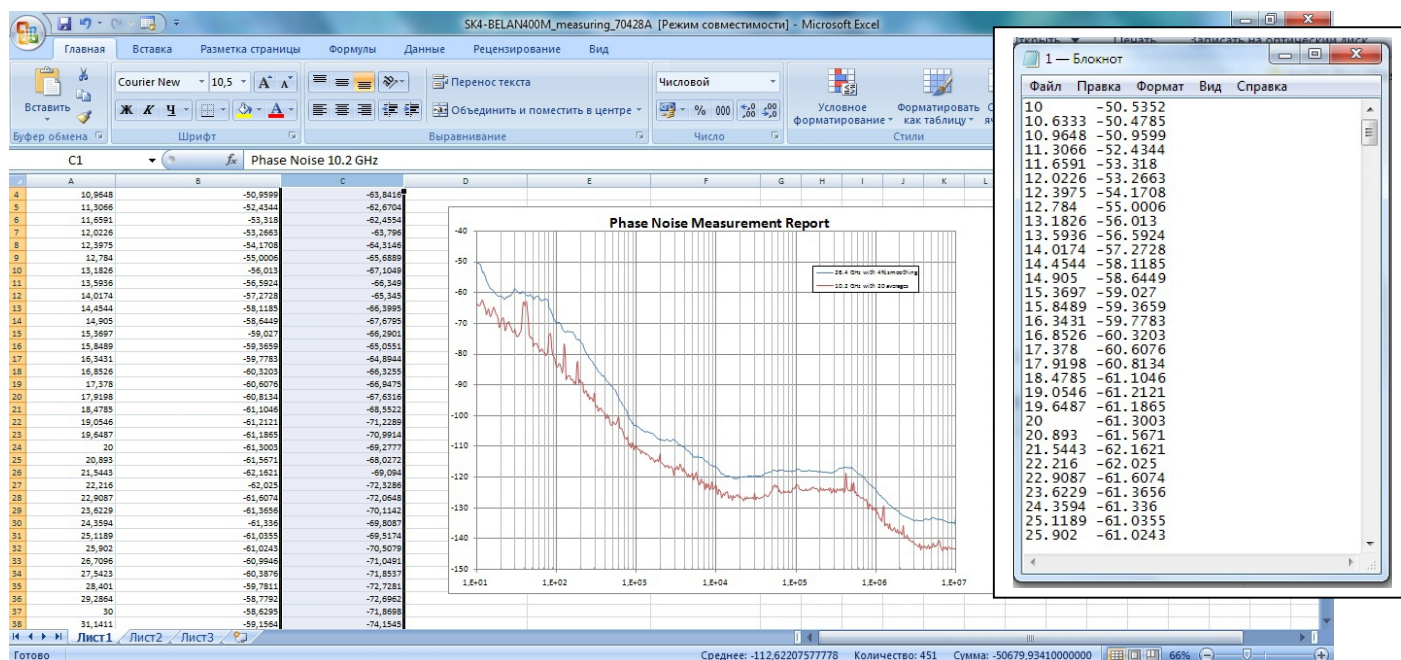


Рис. 148. Построение отчета в Excel с использованием файла с сохраненными данными СПМ ФШ.

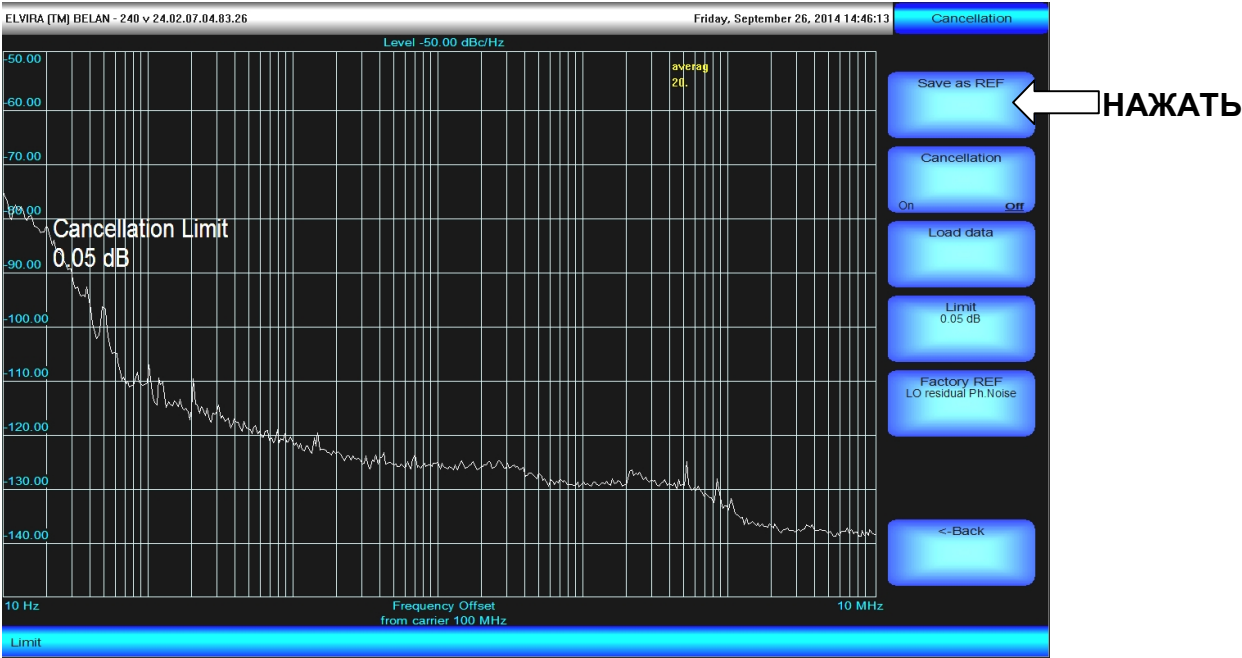


Важной функцией программного обеспечения ФШ в анализаторах «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» является алгоритм «вычищения фазовых шумов». Доступ к данной функции осуществляется при помощи программной клавиши **Cancellation** (см. рисунок 144). Состав данного программного меню показан на рисунке 149.

Для понимания принципов, лежащих в основе алгоритма вычищения, необходимо вспомнить, что фазовый шум, измеряемый анализатором спектра, всегда является суммой шумов объекта измерения и шумов собственных гетеродинов анализатора спектра. Если фазовый шум гетеродинов анализатора спектра намного ниже (см. Таблицу 2.33.1), чем фазовый шум объекта измерения, его влияние на измеренную

характеристику СПМ ФШ объекта измерения будет пренебрежительно малым. Однако по мере того, как фазовый шум гетеродинов анализатора приближается к шумам объекта измерения, он начинает оказывать на точность измерения все более существенное влияние (так, при совпадении по уровню СПМ ФШ гетеродинов анализатора и СПМ ФШ объекта измерения возникает дополнительная ошибка в 3 дБ). Если же фазовый шум гетеродинов анализатора оказывается выше, чем шумы объекта измерения, прямые измерения СПМ ФШ объекта измерения анализатором становятся невозможными.

Рис. 149. Программные клавиши меню «вычищения» фазового шума.



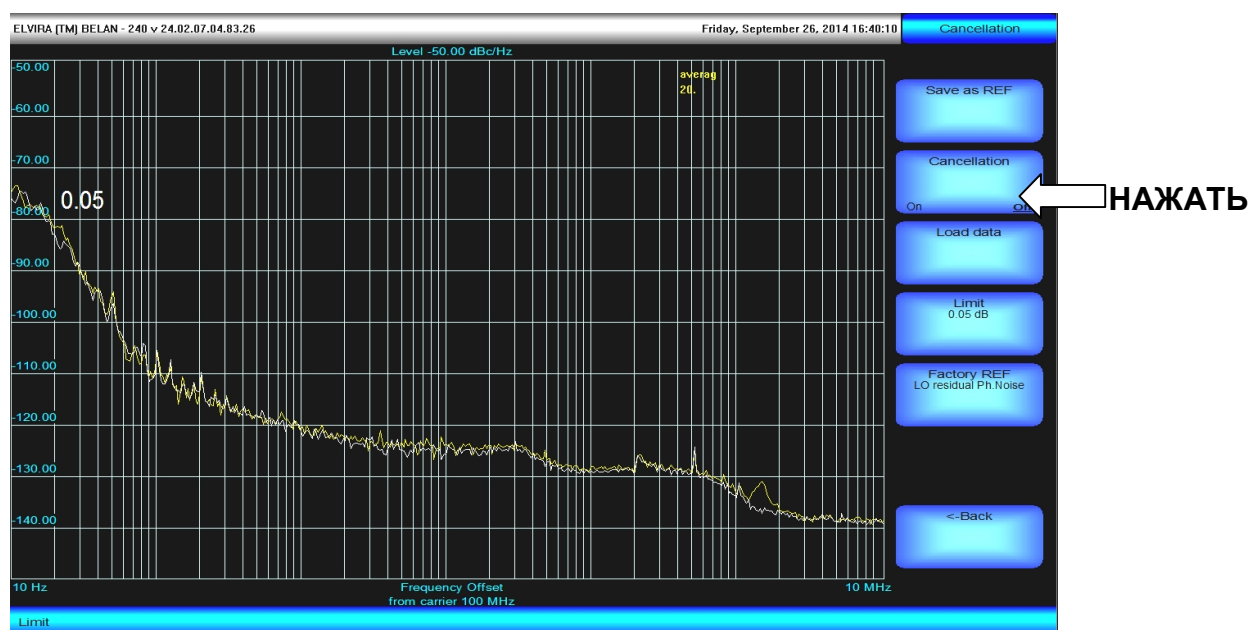
Тем не менее, следует иметь в виду, что даже самый малошумящий («чистый») генератор все равно прибавляет к шумам гетеродинов анализатора дополнительный шум. Если определить точное значение приращения шума, то собственный шум гетеродинов анализатора спектра может быть устранен математически, а откорректированная СПМ ФШ будет точно соответствовать действительной характеристике объекта измерения. Алгоритм математического подавления собственного фазового шума гетеродинов анализатора называется «вычищением фазовых шумов». У данного алгоритма есть ряд ограничений. Во-первых, он предполагает, что шумы анализатора и шумы объекта измерения являются некогерентными, поскольку в его основе лежит оценка только аддитивных шумов. Во-вторых, он предполагает наличие предельно точной информации о собственных шумах анализатора. Также предполагается, что эти шумы инвариантны во времени. В-третьих, данный алгоритм зависит от точности детектирования добавочной шумовой мощности, вносимой объектом измерения. В таблице 2.33.1 на цифрах показано, как взаимосвязаны: разность в шумах гетеродинов анализатора и тестируемого генератора, ошибка в определении СПМ ФШ тестируемого генератора и величина вносимой генератором шумовой добавки, которая должна быть предельно точно продетектирована для устранения ошибки.

Таблица 2.33.1

Разность СПМ ФШ объекта измерения и СПМ ФШ анализатора	Ошибка в измерении СПМ ФШ без использования функции вычищения шума	Шумовое приращение, которое должно быть предельно точно измерено для устранения ошибки
20.00 дБ	0.043 дБ	20.00 дБ
10.00 дБ	0.41 дБ	10.41 дБ
0.00 дБ	3.01 дБ	3.01 дБ
-5.87 дБ	6.87 дБ	1.00 дБ
-10.00 дБ	10.41 дБ	0.41 дБ
-16.33 дБ	16.43 дБ	0.1 дБ
-20.00 дБ	20.04 дБ	0.04 дБ
-26.83 дБ	26.84 дБ	0.01 дБ

Из таблицы 2.33.1 видно, что при шумах объекта измерения, лежащих ниже шумов анализатора спектра на 20дБ, устранение ошибки возможно, скорее, лишь теоретически, поскольку для ее устранения требуется уверенное измерение приращения шумовой мощности в 0.04 дБ для шумового сигнала очень низкого уровня. Подобное измерение выходит за пределы точностных возможностей большинства современных спектроанализаторов. Кроме того, дополнительным осложняющим обстоятельством является то, что подобное измерение, в действительности, представляет собой математическую операцию над двумя измерениями, разнесенными во времени. Любые отклонения в определении предельно малых значений приращения шумовой мощности ведут к экспоненциальному росту ошибки при определении действительной разности шумов анализатора и генератора. Анализаторы спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» для разновременных шумовых сигналов могут уверенно выполнять измерения приращений шумовой мощности до 0.3 дБ, что дает возможность производить адекватную оценку СПМ ФШ тестируемого генератора, превосходящего по шумам гетеродины анализатора чуть более чем на 10 дБ.

Рис. 150. Результат измерения СПМ ФШ тестируемого генератора поверх СПМ ФШ генератора эталонного.

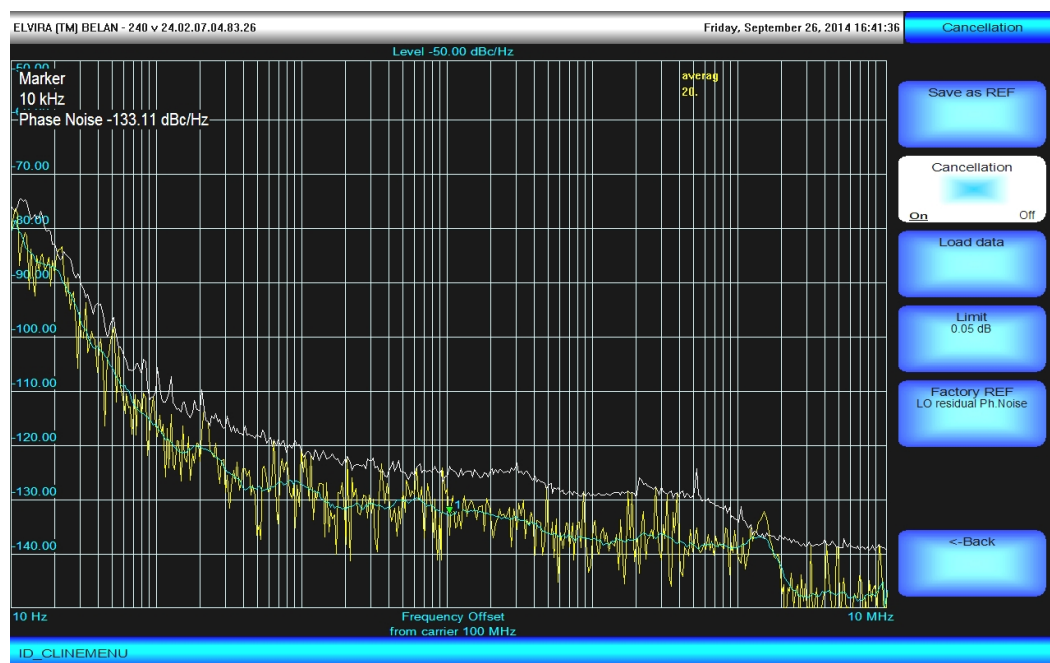


Очевидно, что первичным условием применением алгоритма вычищения является получение предельно точной информации о собственных фазовых шумах анализатора спектра. На практике для определения собственных фазовых шумов анализатора спектра используются два подхода.

Первый заключается в предварительном измерении анализатором СПМ ФШ сверхчистого опорного сигнала, шумы которого лежат ниже шумов анализатора на 30 дБ. В результате измерения фазовых шумов такого идеального генератора собственные шумы анализатора будут определены с точностью выше 0.01 дБ. Если полученный график СПМ ФШ анализатора сохранить в память, а затем выполнить измерение фазовых шумов любого другого тестового генератора (шумы которого хуже шумов эталонного источника, но при этом лучше шумов анализатора) на той же частоте и в том же диапазоне отстроек, анализатор с высокой точностью зафиксирует приращение шумовой мощности. В зависимости от измеренной величины данного приращения, будет произведено вычищение фазовых шумов анализатора спектра в соответствии с таблицей 2.33.1. Примером ситуации, в которой может быть использован описанный подход, является измерение фазовых шумов синтезированного генератора на частоте 100 МГц. Для предварительного определения шумов анализатора на данной частоте можно использовать мал шумящие кварцевые генераторы на 100 МГц, для которых профиль фазового шума с «полкой» в -165 дБн/Гц редкостью не является. Если оба измерения выполняются непосредственно друг за другом, то можно добиться очень высокой точности определения шумовой добавки и, соответственно, эффекта значительного вычищения шумов анализатора. Очевидным недостатком данного подхода является то, что для измерения сигнала генератора, по фазовым шумам превосходящего гетеродины анализатора, нужен источник с фазовыми шумами еще более низкими. Причем для разных частот тестирования необходимы разные эталонные источники.

Для реализации первого способа вычищения (при помощи эталонного источника) на анализаторах «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» следует первым шагом выполнить измерение СПМ ФШ эталонного генератора. Процедура запуска автоматического измерения фазового шума детально описана выше. Поскольку для корректной работы алгоритма вычищения важно детектирование очень малых приращений шумовой мощности, перед запуском измерения СПМ ФШ эталонного источника следует включить не менее 10 усреднений, чтобы максимально уменьшить дисперсию шумовой трассы. На рисунке 149 показан результат измерения фазового шума малошумящего кварцевого генератора с частотой 100 МГц с использованием 20 усреднений. В действительности измеренный график, показанный на рисунке 149, представляет собой СПМ ФШ гетеродинов анализатора спектра, поскольку фазовые шумы кварцевого генератора превосходят шумы анализатора спектра на данной частоте на 30 дБ во всем диапазоне отстроек. Следующим шагом необходимо сохранить данный график в память прибора в качестве эталонного нажатием программной клавиши **Save as REF** (см. рисунок 149). При этом цвет графика изменится на серый. Полученный опорный график СПМ ФШ также может быть сохранен на накопитель информации как текстовый файл в основном меню фазового шума для последующего использования в качестве эталона. Его загрузка осуществляется при помощи программной клавиши **Load Data** через стандартную процедуру Windows. Третьим шагом необходимо выполнить измерение СПМ ФШ тестируемого генератора в абсолютно тех же условиях, при которых проводилось измерение СПМ ФШ эталонного генератора, а именно: при том же положении опорного уровня, режиме тракта, на той же несущей частоте, в том же диапазоне отстроек.

Рис. 151. Результат активации функции вычищения.



Результат измерения СПМ ФШ тестируемого генератора показан на рисунке 150 на фоне запомненного графика СПМ ФШ эталонного источника. Четвертым шагом следует нажать программную клавишу **Cancellation**, которая активирует алгоритм вычищения, в результате чего измеренные фазовые шумы будут опущены согласно зафиксированной величине шумового приращения (см. рисунок 151 и таблицу 2.33.1). Поскольку график СПМ ФШ после активации функции вычищения будет иметь значительную дисперсию, для ее снижения рекомендуется выполнить сглаживание. На рисунке 151 показано сглаживание в 4%, выполненное на графике «3», который выведен поверх графика «1».

В приборах «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» для расширения возможности использования алгоритма вычищения применяется также второй способ определения фазовых шумов собственных гетеродинов анализатора – «метод заводского эталона». Он основан на измерениях параметров СПМ ФШ всех трех гетеродинов анализатора при его выпуске из производства при помощи специализированного анализатора фазовых шумов (Agilent E5052B) и последующем моделировании результирующей характеристики фазового шума для любой входной частоты. Очевидным преимуществом данного подхода является то, что он позволяет получить «эталонный сигнал» для любой частоты измерения в пределах диапазона рабочих частот анализатора. Недостатком же этого подхода является то, что модель общих фазовых шумов гетеродинов анализатора по точности уступает прямому измерению этих шумов при помощи настоящего «железного» эталонного источника, которое используется в первом подходе.

Рис. 152. Подключение заводского эталона для частоты измерения 10.2 ГГц

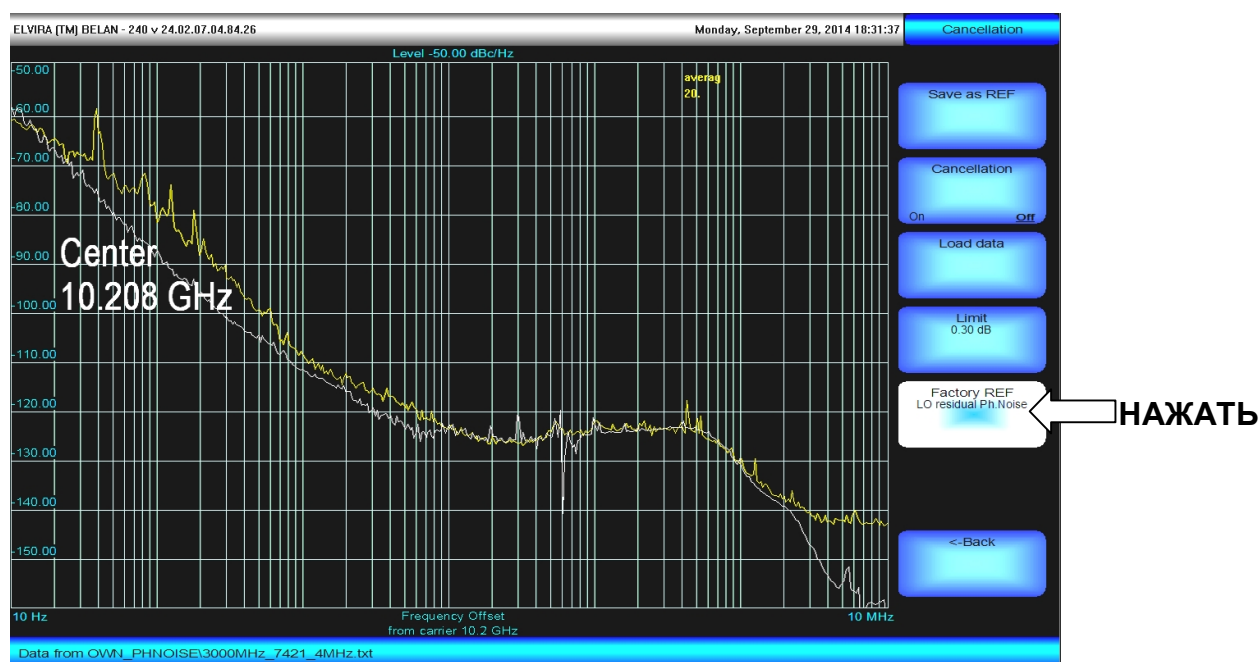
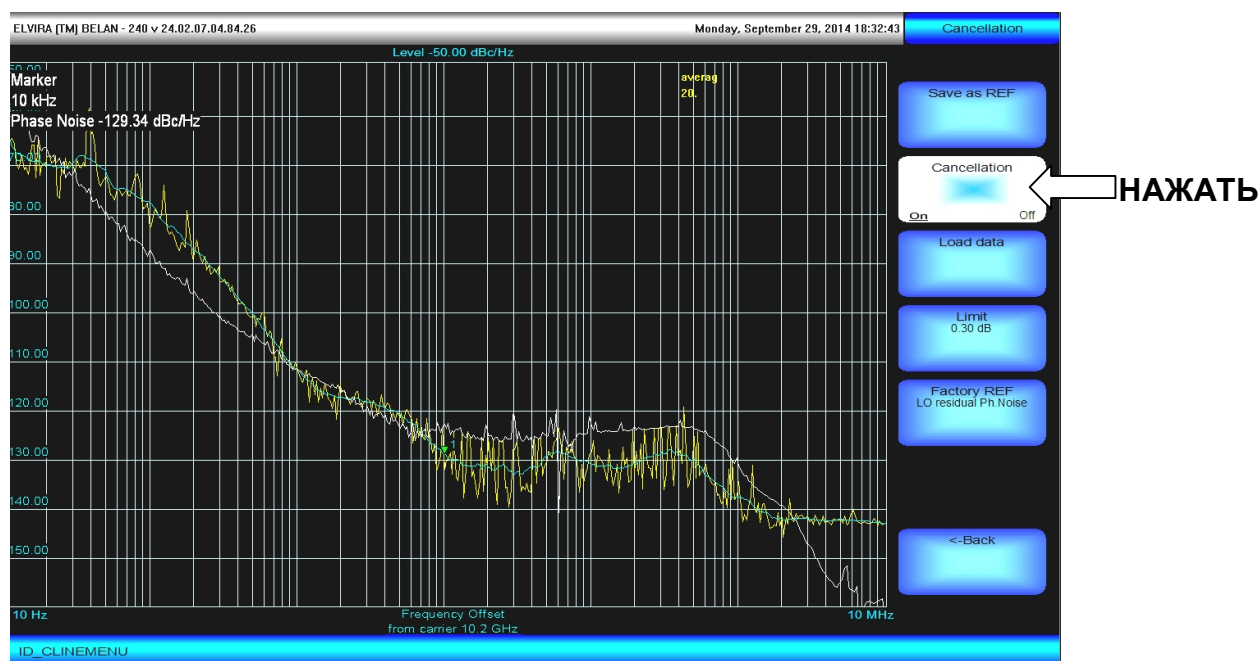


Рис. 153. Результат применения вычищения относительного заводского эталона на частоте 10.2 ГГц



Основной вклад в неточность модели вносит первый гетеродин анализатора, который является перестраиваемым. Измерения его СПМ ФШ проводятся на ряде дискретных частот, между которыми осуществляется интерполяция по закону $20 \log N$. Если частота тестируемого генератора попадает между точками, на которых выполнялись фактические измерения СПМ ФШ первого гетеродина, то на работу алгоритма вычищения будут оказывать влияние погрешности, связанные с интерполяцией. Вторым фактором, который ограничивает эффективность математического моделирования, является то, что измерения характеристик СПМ ФШ гетеродинов анализатора и измерения шумового приращения тестируемого генератора всегда значительно разнесены во времени. А даже самые стабильные аппаратные узлы могут иметь флуктуации характеристик, связанные со старением, предугадать и учесть которые невозможно. Далее, в основе моделирования результирующей СПМ ФШ анализатора лежит концепция

сложения по мощности некогерентных шумов нескольких источников. Однако, в действительности, гетеродины анализатора являются когерентными. Поэтому там, где частоты и уровень шумов гетеродинов оказываются близкими, может происходить не сложение шумов, а их вычитание. Точно рассчитать вычитание шумов при моделировании не представляется возможным. Поэтому в ситуациях, когда еще до активации функции вычитания измеренные шумы тестируемого генератора оказываются ниже, чем промоделированная на основании заводских измерений результирующая характеристика СПМ ФШ гетеродинов анализатора, алгоритм вычитания не применяется. Как правило, с этим явлением можно столкнуться при тестировании генераторов с частотой ниже 1 ГГц, когда при смещении шумов первого и второго гетеродинов анализатора может произойти их вычитание. При работе в диапазоне выше 3 ГГц, вычитания шумов первого и третьего гетеродинов произойти не может, поскольку их частоты будут различаться минимум на порядок. На частотах выше 10 ГГц активные элементы, применяемые для умножения сигнала первого гетеродина, могут вносить дополнительные аддитивные шумы, искажающие математическую модель.

Принимая во внимание все перечисленные ограничения, оператор должен запомнить, что допустимая величина измеренной шумовой добавки, которая может считаться достоверной при активации функции вычитания, в методе заводского эталона, по сравнению с методом прямого измерения эталона, должна быть увеличена до 0.3 дБ. Пороговая величина шумового приращения, квалифицируемого как достоверное, определяется пользователем при помощи программной клавиши **Limit** и отображается в ней как текущее значение параметра. Если фиксируется шумовое приращение, большее или равное пороговому, то оно используется для достижения максимального вычитания. Если же фиксируется шумовое приращение меньше порогового, то оно алгоритмом игнорируется, поскольку его использование привело бы к слишком «оптимистичным» результатам вычитания.

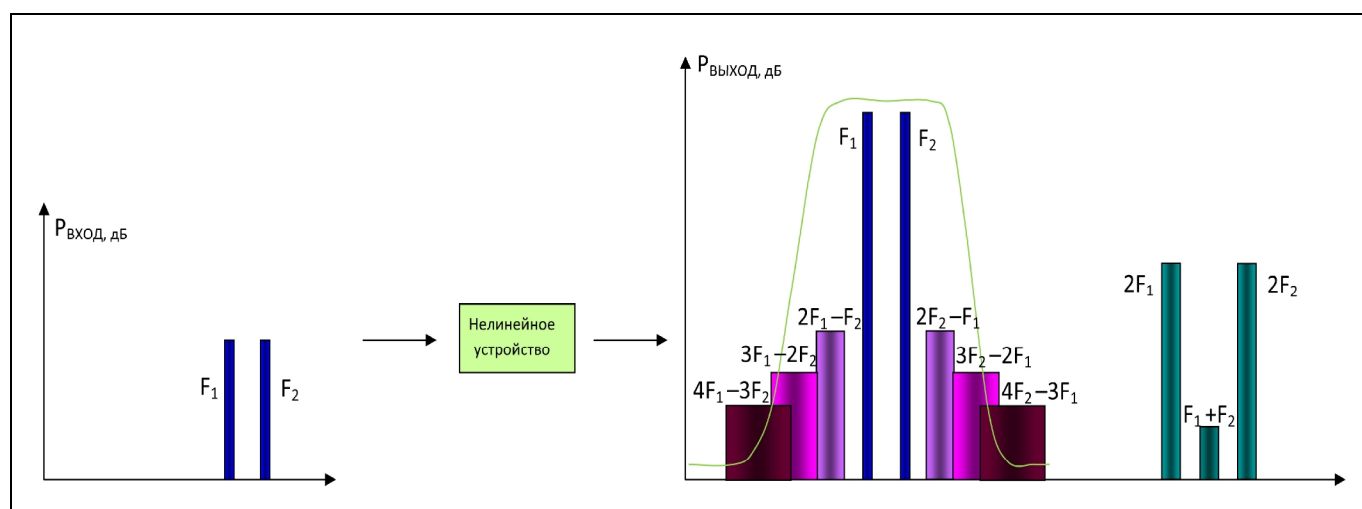
Для иллюстрации второго способа работы с алгоритмом вычитания приведем пример измерения СПМ ФШ сверхчистого сигнала с частотой 10.2 ГГц, взятого от специализированного генератора HP 71708A. Для проведения измерения следует выполнить следующую последовательность действий. Измерить СПМ ФШ тестового сигнала, шумы которого лежат ниже шумов анализатора. Измерение следует проводить с использованием 20 усреднений. После вывода графика СПМ ФШ на экран нажать программную клавишу **Factory REF** в дополнительном меню вычитания фазового шума (см. рисунок 152). При этом на экране появится график серого цвета, представляющий эффективную СПМ ФШ гетеродинов анализатора для данной входной частоты. При помощи программной клавиши **Limit** задать пороговую величину приращения шумов в 0.3 дБ (меньшее значение при работе относительно заводского эталона использовать не рекомендуется). Выполнить процедуру вычитания нажатием программной клавиши **Cancellation** (см. рисунок 153). Подключить график «3». Уменьшить дисперсию графика СПМ ФШ с активированной функцией вычитания при помощи сглаживания. Полученный результат показан на рисунке 153. Он достаточно хорошо согласуется со спецификацией на прибор HP 71708A.

Важно запомнить: полученные с применением алгоритма вычитания результаты измерения СПМ ФШ генераторов, превосходящих по фазовым шумам гетеродины анализатора, являются ОЦЕНОЧНЫМИ. Их нельзя использовать для точных спецификаций, в отличие от случаев, когда шумы измеряемого генератора значительно выше собственных шумов анализатора.

2.34. Измерение интермодуляционных искажений

Измерение параметров интермодуляции является исключительно важной задачей при определении характеристик ключевых функциональных узлов аналоговых трактов, таких, как усилители и преобразователи частоты. Интермодуляционные искажения – это паразитные отклики, возникающие в нелинейных элементах при одновременном прохождении через них двух и более сигналов. Рассмотрим механизм генерации данного вида искажений подробнее. Когда на вход нелинейного элемента (усилителя или смесителя) приходят два гармонических сигнала F_1 и F_2 , близко расположенные друг от друга на оси частот, на частотах $2F_1, 3F_1, \dots, nF_1$ и $2F_2, 3F_2, \dots, mF_2$ возникают гармоники. Эти гармоники в нелинейном элементе будут порождать комбинационные отклики вида $nF_1 \pm mF_2$, где m и n – это целые числа (рисунок 154). Порядок искажений определяется суммой n и m . Так, $2F_1 - F_2$ и $2F_2 - F_1$ – это интермодуляционные искажения третьего порядка, $3F_1 - 2F_2$ и $3F_2 - 2F_1$ – пятого, $4F_1 - 3F_2$ и $4F_2 - 3F_1$ – седьмого. Если в борьбе с гармоническими искажениями кардинально помогает фильтрация, то интермодуляционные искажения неудобны тем, что располагаются на оси частот близко к полезным сигналам и не могут быть отфильтрованы. Наиболее «проблемными» продуктами традиционно считаются интермодуляционные отклики 3-го порядка.

Рис. 154. Схематичное представление генерации продуктов интермодуляции в нелинейном устройстве.



Интермодуляционные искажения, а также максимальную интермодуляционную динамику системы можно определить, пользуясь понятием точки пересечения 3-го порядка. Точка пересечения по интермодуляции третьего порядка (по-английски Third Order Intercept point или TOI) – это умозрительная величина, характеризующая уровень двухтонального сигнала, который в нелинейном устройстве порождает интермодуляционные отклики равной с ним амплитуды. Для отдельного узла тракта точка пересечения может нормироваться по входу (Input Intercept Point, IIP3) или по выходу (Output Intercept Point, OIP3). Указанные термины связаны через коэффициент передачи устройства: так, для усилителя $OIP3 = IIP3 +$ коэффициент усиления, для смесителя $OIP3 = IIP3 -$ потери преобразования. Для анализатора спектра точка пересечения приводится всегда ко входу и чаще всего называется просто TOI. Взаимосвязь между точкой пересечения, максимальной динамикой по интермодуляции и уровнем интермодуляционных откликов легче всего представить графически (рисунок 155).

Из рисунка 155 очевидно, что:

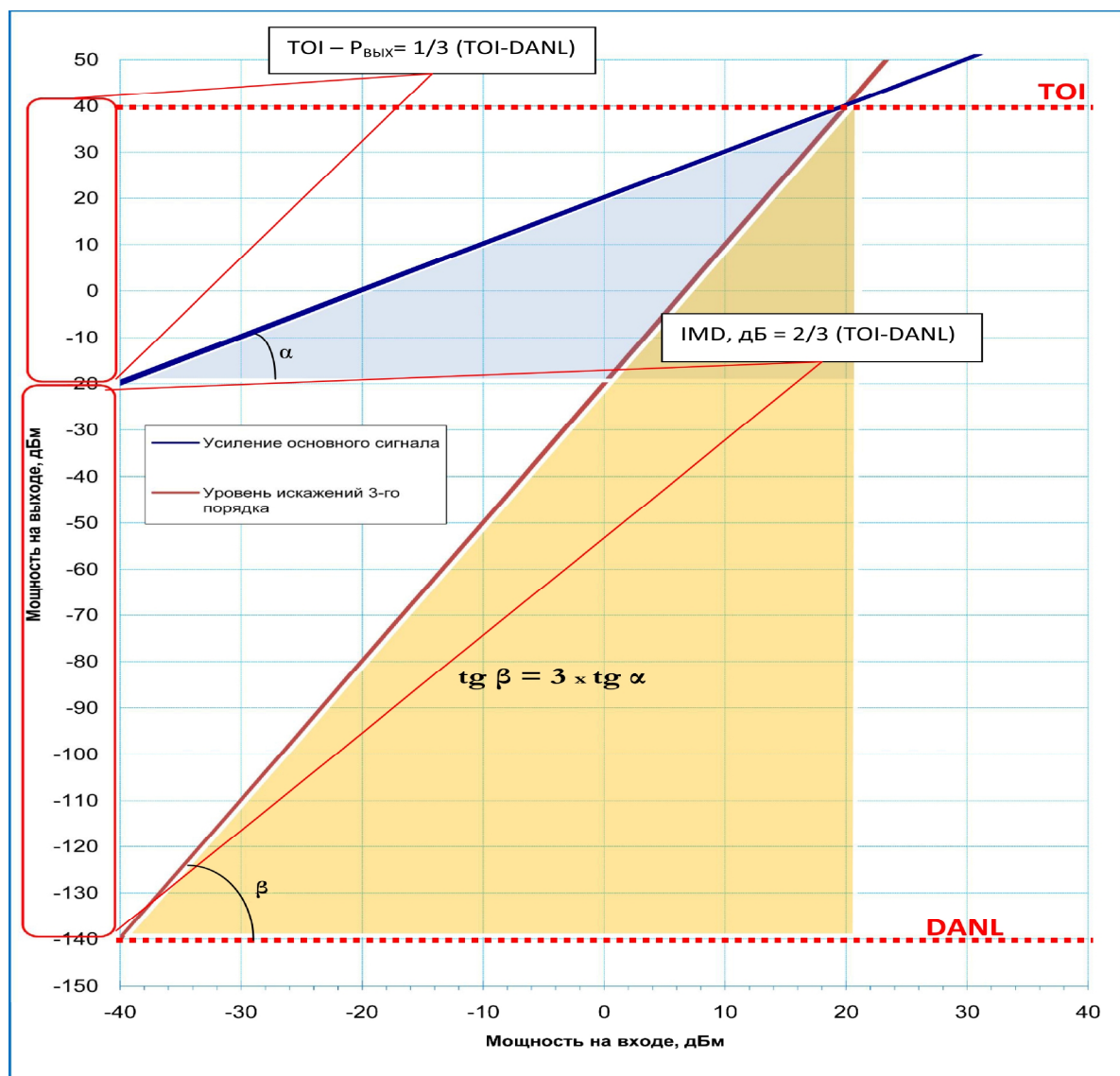
$$\text{ДД}_{3\text{-го порядка}} = 2/3 (\text{TOI} - \text{DANL}) \quad (2.34.1);$$

$$\text{TOI} = P_{\text{вых}} - (\text{IMD}_{\text{дБ}}/2) \quad (2.34.2);$$

где $\text{ДД}_{3\text{-го порядка}}$ – максмиальный динамический диапазон, свободный от интермодуляционных продуктов 3-го порядка, дБ;

TOI - точка пересечения по интермодуляции 3-го порядка, дБм;
DANL – средний уровень шумов при выбранном фильтре ПЧ, дБм;
P_{вых} – уровень каждого тона в выходном двухтональном сигнале, дБм;
IMD_{-дБ} – уровень интермодуляционных искажений относительно уровня полезного сигнала.

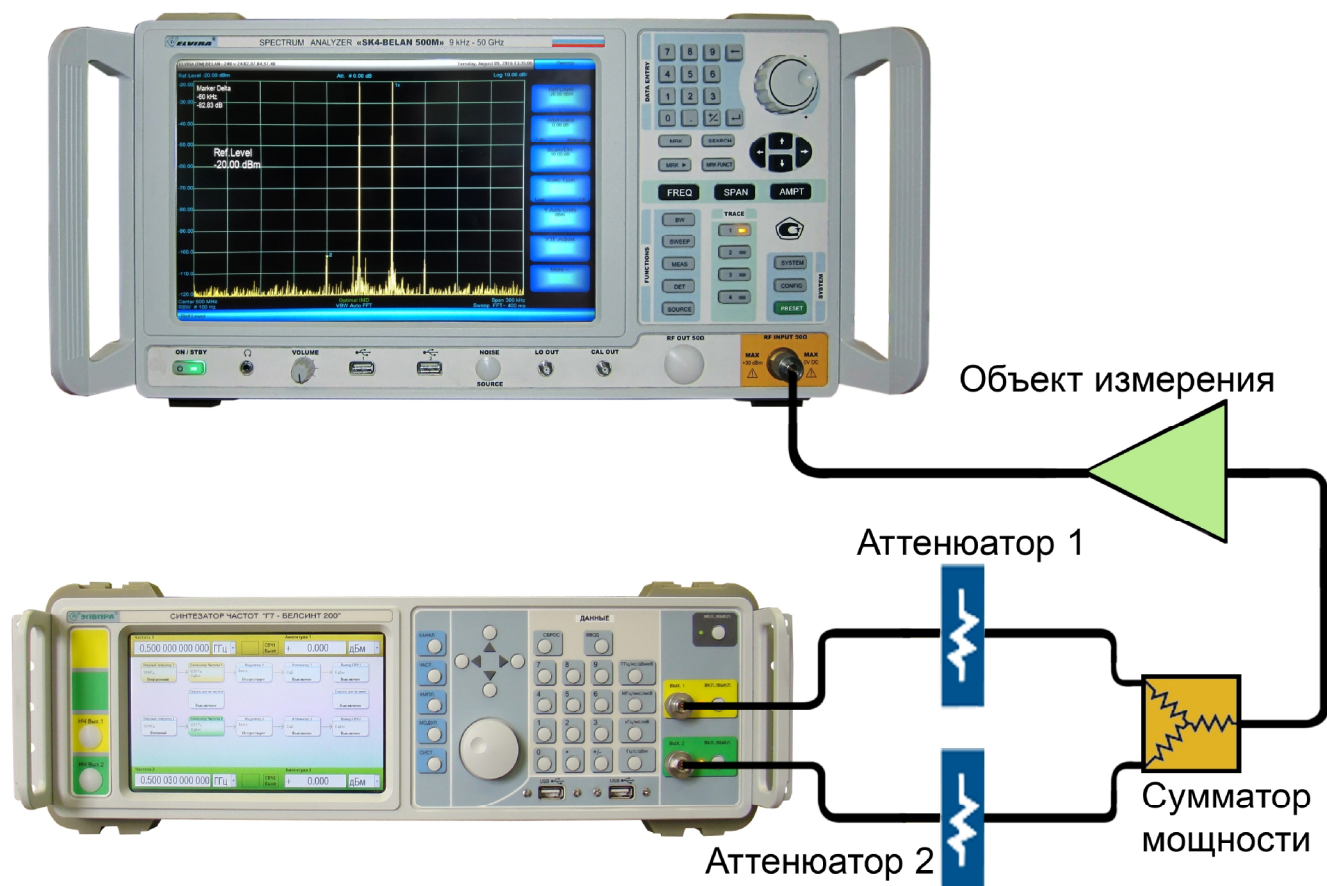
Рис. 155. Графическое представление максимального диапазона по интермодуляции для усилителя.



Формулой (2.34.1) можно уверенно пользоваться для расчета максимальной интермодуляционной динамики при прохождении сигнала через аналоговое устройство (или аналоговый тракт). Именно эта формула кладется в основу спецификации максимальной динамики по интермодуляции 3-го порядка для аналогового тракта анализатора спектра. Например, при TOI в +20 дБм и DANL в -150 дБм/Гц (цифры из описания типа для частоты 1 ГГц) мы получаем, что максимальный динамический диапазон по интермодуляции 3-го порядка для режима тракта **Optimal IMD** для приборов «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» составляет величину порядка 113 дБ. Однако поскольку анализатор спектра представляет собой аналогово-цифровой прибор, его динамику по интермодуляции, в действительности, дополнительно ограничивает окончательный АЦП в блоке цифровой обработки сигнала. Современные АЦП обычно имеют некоторый оптимум по динамическому диапазону, свободному от интермодуляционных продуктов 3-го порядка, который достигается при определенном уровне сигнала относительно полной шкалы АЦП. Режим тракта **Optimal IMD** в анализаторах «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» откалиброван таким образом, что АЦП всегда работает на максимуме своей интермодуляционной динамики при уровне сигнала, равном опорному уровню **Ref. Level** в приборе. Данный максимум имеет гарантированное

значение в 90 дБ на частоте 1 ГГц и типовое в 95 дБ. Таким образом, на частоте 1 ГГц при уровне двухтонального сигнала на выходе объекта измерения, равном 0 дБм, +10 дБм и +20 дБм, согласно выражению (2.34.2), «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» может измерять значения TOI (OIP3) в +45 дБм, +55 дБм и +65 дБм, соответственно.

Рис. 156. Схема измерения интермодуляционных искажений усилителя на «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М».

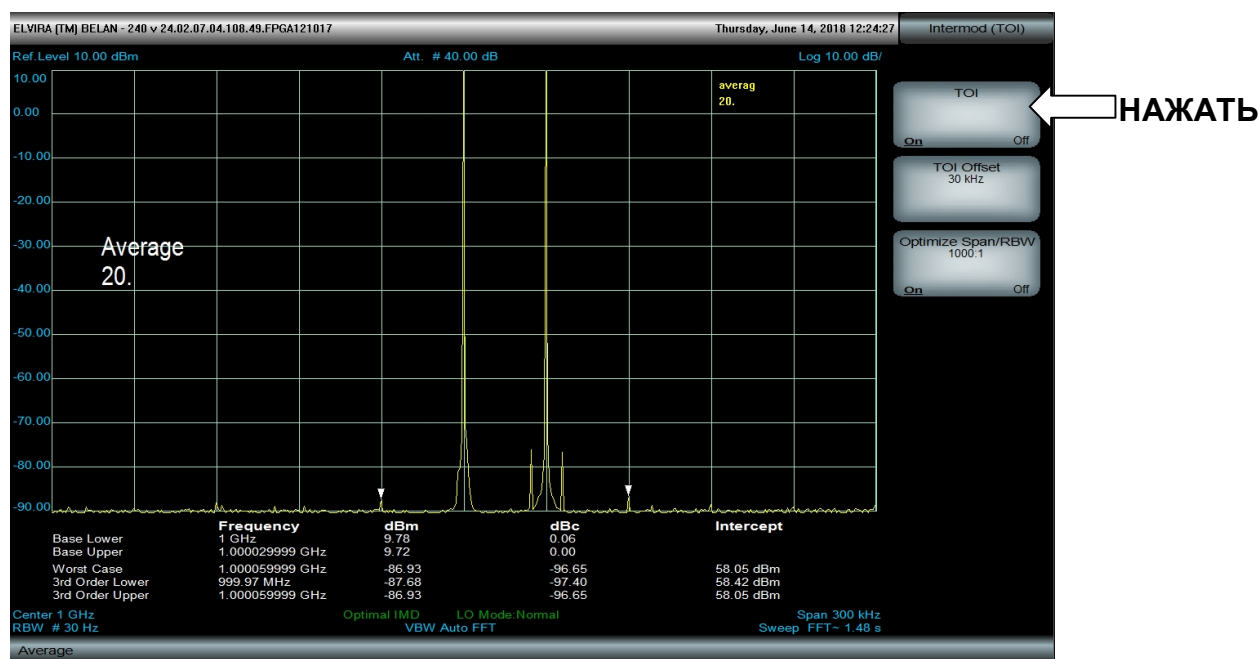


Типовая схема измерения интермодуляционных искажений усилителя на «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» приведена на рисунке 156. Для измерения интермодуляции усилителя, помимо самого анализатора спектра, необходим вспомогательный двухканальный генератор (например, Г7-БЕЛСИНТ 200) или два одноканальных генератора, сумматор мощности, дополнительные развязывающие устройства (аттенюаторы или вентили) и соответствующие кабельные сборки и коаксиальные переходы. Для измерения интермодуляции смесителей дополнительно потребуется еще один генератор, который будет обеспечивать сигнал гетеродина необходимого уровня для тестируемого смесителя.

Порядок выполнения измерения интермодуляционных искажений следующий. Анализатор спектра перевести в режим тракта **Optimal IMD** путем нажатия кнопки **AMPT** на передней панели прибора и программных клавиш **More->** и **Optimum**. Перед подключением тестируемого устройства следует выполнить два предварительных измерения. Во-первых, следует убедиться, что тестовый двухтональный сигнал с частотами F_1 и F_2 не имеет собственных интермодуляционных искажений (иногда из-за недостаточной развязки тестовые генераторы могут модулировать друг друга). Для этого следует подать двухтональный сигнал того же уровня, что будет впоследствии подан на тестируемое устройство, на вход анализатора спектра. Установить на анализаторе центральную частоту $F_c = (F_1 + F_2)/2$. Установить полосу обзора, равную величине $(F_2 - F_1) \cdot 10$. Установить опорный уровень, равный уровню отдельного тона. При помощи кнопки **BW** и соответствующих программных клавиш уменьшить значение фильтра ПЧ, используемое по умолчанию, чтобы соотношение **SPAN/RBW** стало ≥ 1000 . Убедиться, что относительный уровень интермодуляционных откликов на частотах $2F_1 - F_2$ и $2F_2 - F_1$ не превышает -90 дБ. Вторым шагом

следует удостовериться, что при уровне сигнала, ожидаемом на выходе объекта измерения, анализатор спектра не имеет собственных интермодуляционных искажений выше гарантированного уровня. Для этого нужно изменить опорный уровень анализатора спектра таким образом, чтобы он стал равен ожидаемому уровню отдельного тона на выходе тестируемого устройства. Далее, регулируя выходную мощность тестовых генераторов, нужно добиться, чтобы тестовый двухтональный сигнал стал равен опорному уровню анализатора спектра. Убедиться, что интермодуляционные искажения на экране анализатора по-прежнему не превышают -90 дБ. Если используемые генераторы не могут обеспечить требуемой мощности выходного сигнала, то второй шаг следует пропустить.

Рис. 157. Автоматическое измерение интермодуляционных искажений усилителя.



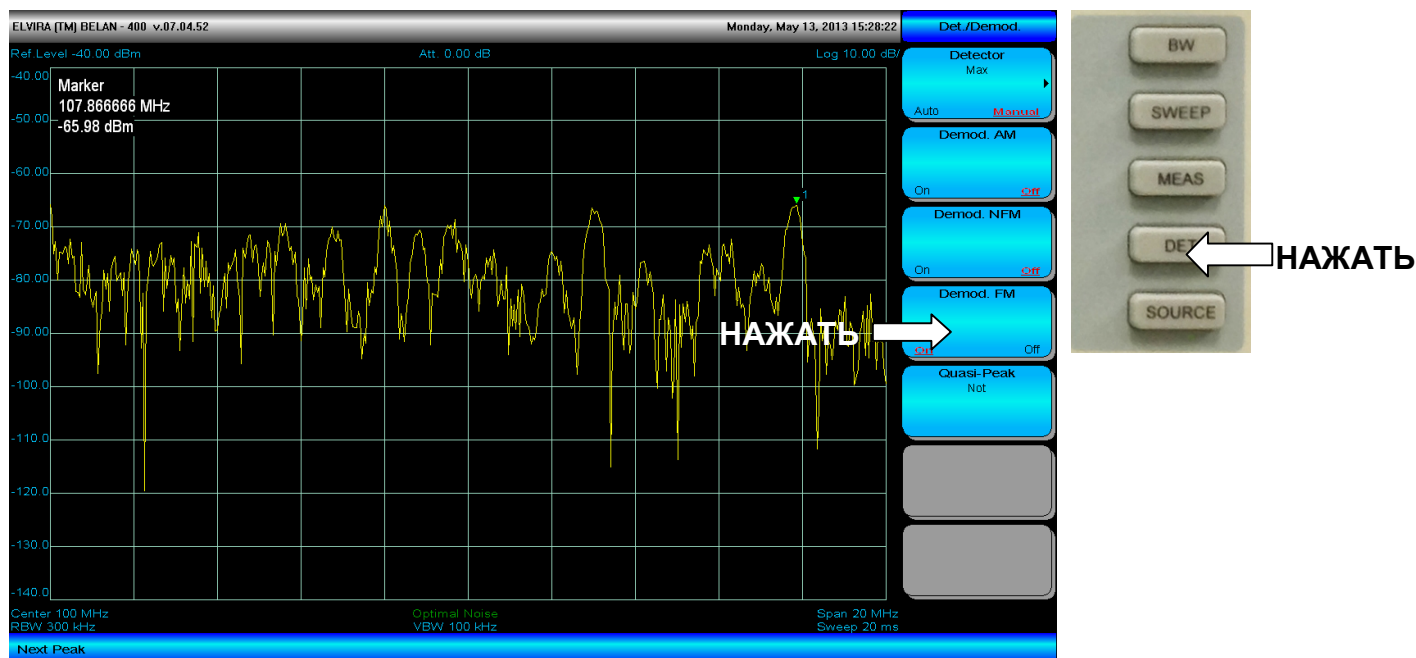
После выполнения указанных операций можно переходить к непосредственному измерению тестируемого устройства. Подключить объект измерения в соответствии со схемой на рисунке 156. Нажать кнопку **MEAS**, далее программные клавиши **Power** и **Intermod(TOI)**. Будет вызвано программное меню, связанное с автоматическим измерением интермодуляционных искажений (см. рисунок 157). В данном меню выбрать значение разноса частот двухтонального сигнала в соответствии со спецификацией тестируемого устройства при помощи программной клавиши **TOI Offset** и стандартной процедуры ввода данных. Величина частотной расстройки после ввода будет отображаться как значение программной клавиши (в примере на рисунке 157 расстройка равна 30 кГц). Проверить, что это значение расстройки используется и у тестовых генераторов. Активировать программную клавишу **Optimize Span/RBW**. Включить автоматическое измерение нажатием на программную клавишу **TOI**. При необходимости следует использовать усреднение графика (как описано в разделах 2.20 и 2.21). Прибор выполнит автоматическое измерение параметров интермодуляции и выведет данные измерения под масштабной сеткой в нижней части экрана. Эти данные включают: значение частоты и уровня каждого тона, абсолютный и относительный уровень для каждой комбинационной частоты, значение точки пересечения по интермодуляции 3-го порядка, посчитанное для каждого из двух тонов, и худшее из этих двух значений. Результат измерения усилителя с высокой интермодуляционной динамикой показан на рисунке 157.

При тестировании параметров интермодуляции следует помнить, что анализатор спектра может достоверно измерять интермодуляционные искажения тестируемого устройства, если только его собственные искажения лежат ниже искажений объекта измерения на 10 дБ и более. Косвенным индикатором того, что собственные искажения прибора не влияют на измерение, является симметрия уровней комбинационных откликов. Если комбинационные отклики на выходе объекта измерения имеют разный уровень (разница в 6 дБ и более), это означает, что на них оказывают влияние собственные искажения анализатора. В этом случае для повышения точности измерения можно попробовать дополнительно увеличить ослабление входного аттенюатора, чтобы тракт анализатора работал в более линейном режиме. При этом следует пропорционально сузить фильтр ПЧ для сохранения чувствительности.

2.35. Выбор детектора и демодулятора

Доступ в меню выбора типа детектора и демодулятора осуществляется при помощи кнопки **DET** в секции функциональных клавиш на передней панели прибора. При этом на экране будет отображено меню, показанное на рисунке 158.

Рис. 158. Меню программных клавиш для выбора типа детектора и демодулятора.



Программные клавиши **Demod. AM**, **Demod. NFM** и **Demod. FM** предназначены для включения амплитудного демодулятора, узкополосного частотного демодулятора и широкополосного частотного демодулятора соответственно. Для демодуляции эфирного сигнала следует подключить антенну требуемого частотного диапазона к входу анализатора спектра, установить полосу обзора, в которой четко видны интересующие оператора сигналы, установить маркер на нужный сигнал и включить нужный демодулятор нажатием соответствующей программной клавиши. Анализатор спектра осуществит демодуляцию сигнала в точке маркера (см. рисунок 158). Громкость аудио сигнала можно контролировать при помощи регулятора громкости на передней панели. Для повышения чувствительности анализатора спектра, можно выключить входной аттенюатор (при условии, что в эфире нет сигналов, достаточно мощных, чтобы вывести входные каскады прибора из строя). Перемещая маркер между пиками на графике, оператор может последовательно демодулировать все интересующие его сигналы.

ВАЖНО ПОМНИТЬ:

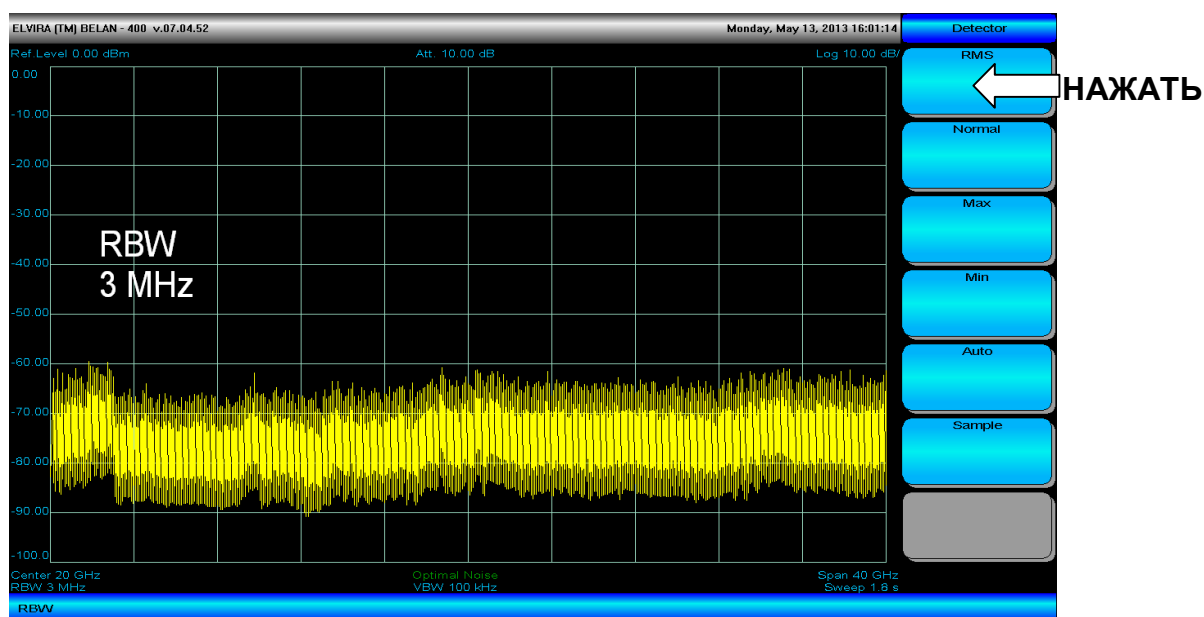
Когда демодулятор включен, анализатор спектра прекращает развертку. Развертка возобновляется только при выключенном демодуляторе.

Программная клавиша **Detector** используется для выбора типа детектора. Используемый в данный момент времени тип детектора отображается в программной клавише как значение параметра. При нажатии на клавишу **Detector** открывается дополнительное меню (см. рисунок 159), программные клавиши которого отвечают за разные типы детекторов.

Термин “тип детектора” требует некоторого разъяснения. Когда анализатор спектра выполняет развертку в заданном частотном диапазоне, входной сигнал смешивается с синхронно перестраиваемым гетеродином и преобразуется в промежуточную частоту (ПЧ) 21.4 МГц. Сигнал ПЧ подается на блок цифровой обработки, где осуществляется аналогово-цифровое преобразование сигнала, его децимация и фильтрация. На выходе блока цифровой обработки образуется заданное количество отфильтрованных цифровых отсчетов, из которых управляющий компьютер должен построить измерительный график для вывода на экран

прибора. Анализатору спектра необходимо такое количество отсчетов, которое обеспечивает отсутствие пропусков измеряемого сигнала в заданной полосе обзора (например, когда сигнал попадает между отсчетами). Для выполнения этой задачи используется следующий алгоритм: анализатор спектра определяет нужное количество отсчетов путем деления полосы обзора на полосу пропускания ПЧ и умножения полученной величины на 3. Это означает, например, что количество отсчетов для полосы обзора 10 ГГц и ФПЧ 1 МГц составляет 30,000. Однако график, который выводится на экран, содержит только 451 точку. Таким образом, для приведенного примера одна точка на экране соответствует 66 измерительным отсчетам. Совокупность отсчетов, соответствующих одной точке измерительной трассы, называется ячейкой. «Тип детектора» - это алгоритм, который ставит в соответствие одной точке измерительной трассы определенный отсчет из ячейки (или величину, полученную путем определенных математических операций с отсчетами из ячейки).

Рис. 159. Дополнительное меню для выбора типа детектора



Самые простые типы детекторов – это детектор минимальных, максимальных и случайных значений (детектор выборки). Детектор минимальных значений выбирает из ячейки отсчет с наименьшей амплитудой. Напротив, детектор максимальных значений (или пиковый детектор) выбирает отсчет максимального уровня.

Детектор СКЗ (RMS) берет квадратный корень из суммы квадратов напряжений всех отсчетов в ячейке, переводит полученное значение в мощность (в логарифмическом виде) и отображает полученный результат как точку измерительной трассы. На рисунке 160 для сравнения показано наложение трех графиков, где используются детектор минимальных (голубой график), детектор максимальных (зеленый график) и детектор среднеквадратичных (желтый график) значений.

Детектор выборки или детектор случайных значений для каждой точки измерительной трассы выбирает одно значение с определенным номером из ячейки отсчетов (номер одинаковый для всех ячеек). Считается, что детектор выборки обеспечивает наилучшее представление шума и стохастических процессов благодаря своей случайной природе. Однако детектор выборки часто может пропускать сигнал, что является огромным недостатком для многих СВЧ приложений (например, при настройке генераторов гармоник в широкой полосе, где детектор выборки может исказить огибающую или вовсе пропускать гармоники).

Для того чтобы адекватно представлять шум и в то же время обеспечить отсутствие пропуска сигналов, используется более сложный алгоритм «нормального» детектора (также известный как Rosenfell детектор). Спектрограмма с включенным «нормальным» детектором приведена на рисунке 161. «Нормальный» детектор используется в анализаторах спектра «СК4-БЕЛАН 240М/400М/500М» по умолчанию.

Алгоритм «нормального» детектора более сложный. Как уже говорилось, «нормальный» детектор также иногда называют детектором «Rosenfell». Последнее название - это не имя изобретателя алгоритма, а

образное описание принципа его работы – от английского «rose and fell» - «поднялся и опустился». Если амплитуда отсчетов в пределах ячейки поднимается и опускается, то сигнал в ячейке классифицируется как шум. В этом случае в точках измерительной трассы, которым соответствуют ячейки с нечетными номерами, выводятся отсчеты максимального уровня, а в точках, которым соответствуют четные ячейки, - минимального.

Рис. 160. Наложение трех графиков с использованием детекторов минимальных, максимальных и среднеквадратичных значений.

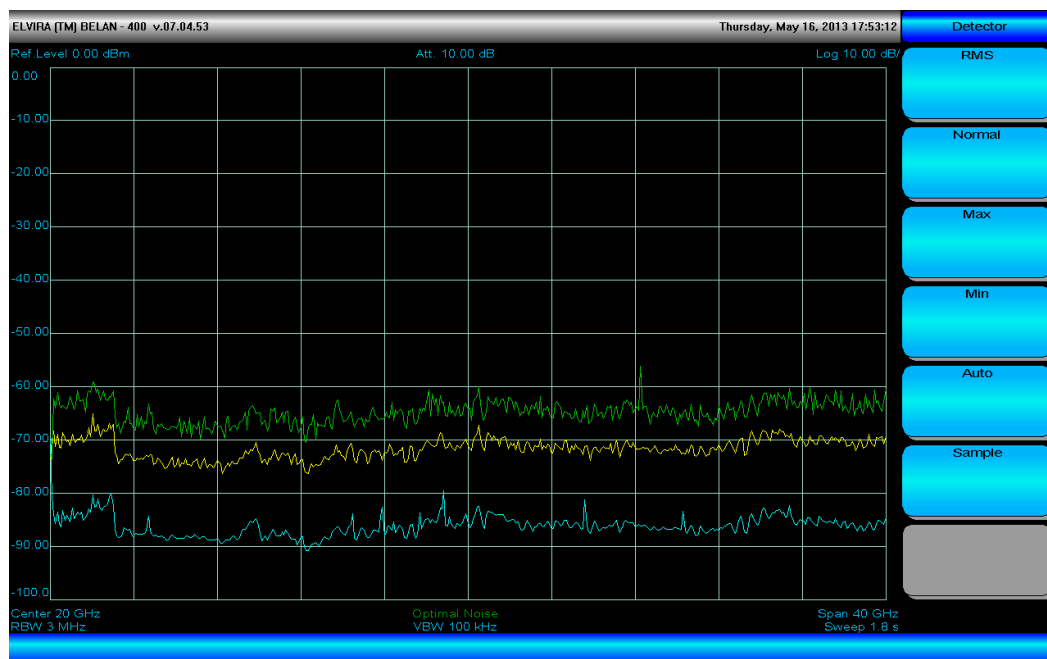
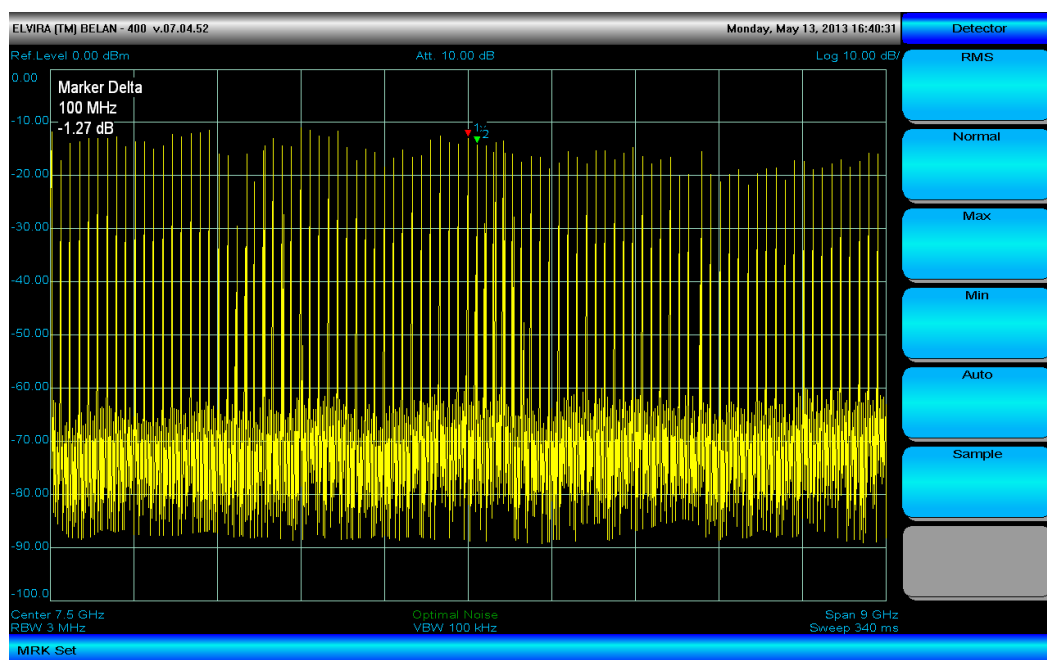


Рис. 161. Выход генератора гармоник 100 МГц, отображенный при помощи «нормального» детектора

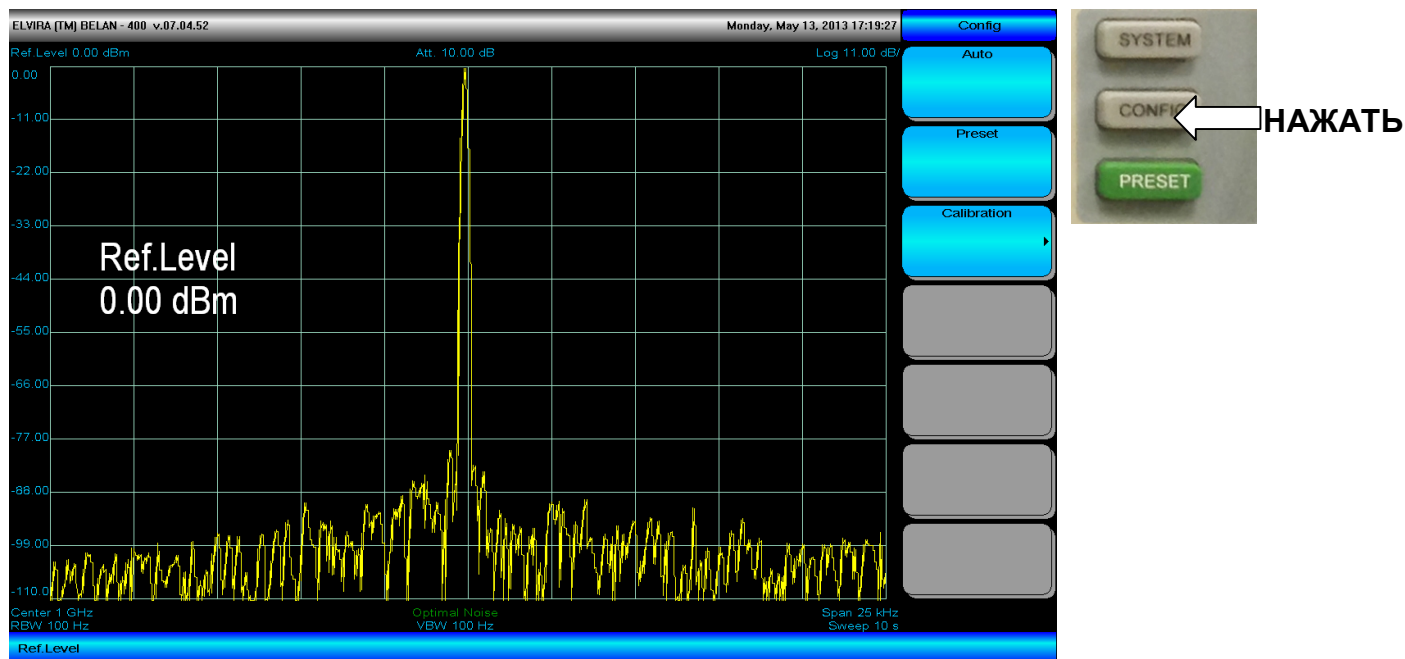


Если в ячейку отсчетов попадает синусоидальный сигнал, возможны два сценария. Если полоса пропускания используемого фильтра шире, чем полоса частот, приходящаяся на одну точку измерительной трассы (ячейку отсчетов), то амплитуда отсчетов в ячейке будет только расти, пока не достигнет пика АЧХ фильтра ПЧ, а затем будет только падать. В этом случае алгоритм «нормального» детектора будет отображать только отсчеты максимальной амплитуды. При втором сценарии полоса пропускания используемого фильтра уже, чем полоса частот, занимаемая ячейкой отсчетов. Если ячейка нечетная (когда выводится максимум), это не представляет проблемы, поскольку отсчет максимального уровня отображается на экране, и сигнал не пропускается. Однако если ячейка четная, то в соответствующей точке измерительной трассы будет выводиться отсчет минимального уровня, который может намного отличаться от действительной амплитуды сигнала в ячейке (отсчета с максимальным уровнем). Может случиться так, что в следующей нечетной ячейке амплитуда отсчетов снова упадет и, хотя теперь будет отображен максимум, действительный максимальный сигнал, попавший в предыдущую четную ячейку, уже будет пропущен. Во избежание подобных ситуаций в алгоритм «нормального» детектора вводится дополнительное условие: запоминать максимум в четной ячейке и сравнивать его с максимумом из следующей нечетной ячейки. Если максимум, зафиксированный в четной ячейке, превышает максимум из следующей нечетной ячейки, то в этой нечетной ячейке выводится максимум из предыдущей четной. Единственным недостатком этого метода является возможный небольшой сдвиг сигнала вверх по частоте (что на широких полосах обзора практически незаметно). При этом «нормальный» детектор позволяет адекватно отображать шум и обеспечивает отсутствие пропусков сигнала. На рисунке 161 показан спектр на выходе генератора гармоник (работающего при входной частоте 100 МГц) в режиме «нормального» детектора.

2.36. Контроль состояния прибора

Доступ в меню контроля состояния прибора осуществляется нажатием кнопки **CONFIG** в секции системных клавиш на передней панели анализатора. При нажатии указанной кнопки появляется меню программных клавиш, показанное на рисунке 162.

Рис. 162. Меню контроля состояния прибора

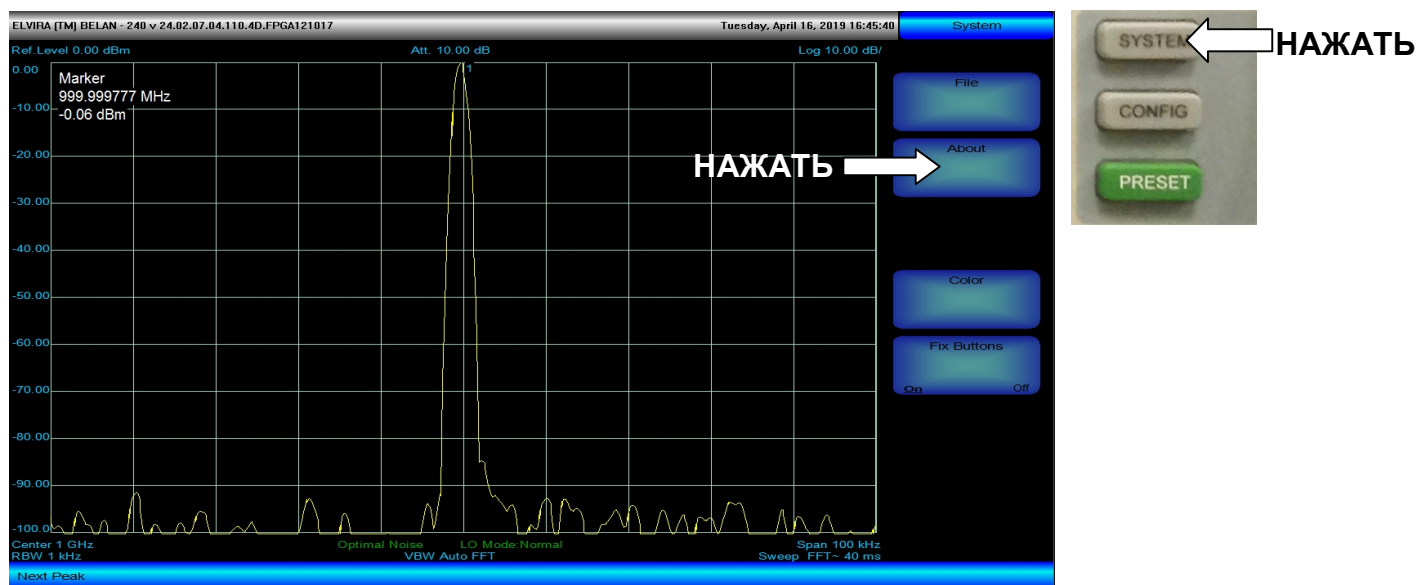


Программная клавиша **Auto** выставляет значения, применяемые по умолчанию, для всех параметров прибора, которые допускают ручные настройки. Программная клавиша **Preset** возвращает начальные заводские установки (эта программная клавиша дублирует зеленую кнопку **PRESET** на передней панели прибора). Программная клавиша **Calibration** используется для доступа в меню калибровки различных аппаратных узлов анализатора. По умолчанию данное меню закрыто. Для получения доступа в меню калибровки и детальных инструкций относительно его использования, свяжитесь с производителем.

2.37. Сохранение файлов и работа с системным меню

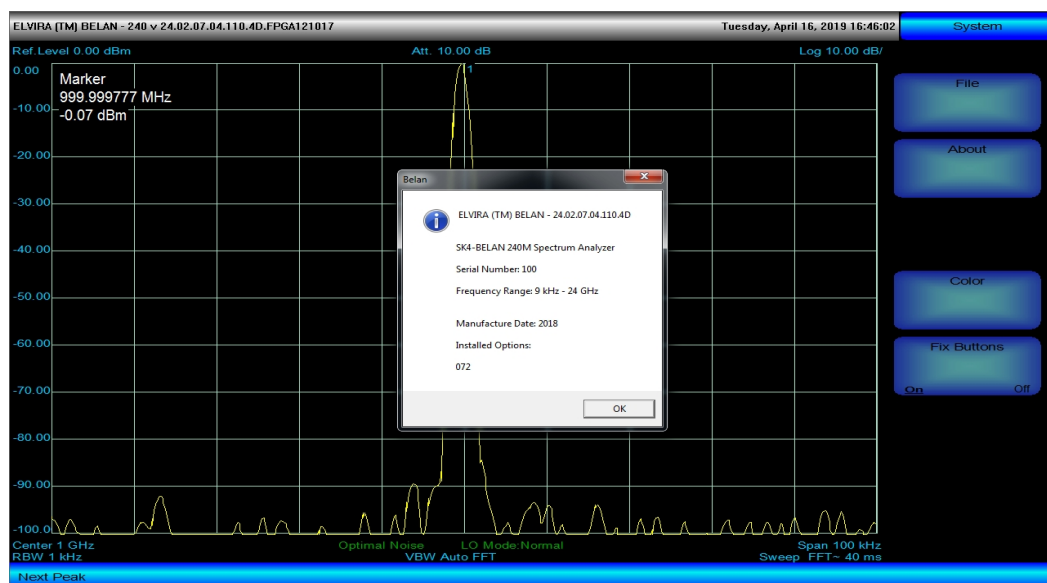
Доступ к меню системных программных клавиш осуществляется нажатием кнопки **SYSTEM** в секции системных клавиш на передней панели прибора (см. рисунок 163).

Рис. 163. Меню системных программных клавиш.



Программная клавиша **About** позволяет вывести на экран информацию о приборе: версию его программного обеспечения, заводской номер, диапазон частот, дату изготовления и перечень установленных опций. Когда клавиша **About** нажата, информация о приборе появляется в специальном диалоговом окне (см. рисунок 164). Закрыть данное окно можно нажатием на клавишу **OK**.

Рис. 164. Вывод информации о приборе.



Программная клавиша **File** открывает меню управления файлами (см. рисунок 165).

Программная клавиша **Save Settings** в меню управления файлами позволяет сохранить специфические пользовательские настройки прибора в виде файла с расширением prm. Программная клавиша **Save Picture** используется для сохранения спектрограмм в виде файлов с расширением bmp. Программная клавиша **Save Data** служит для сохранения измерительной трассы в виде текстового файла с расширением txt. Такой текстовый файл будет представлять собой таблицу, состоящую из 451 пар чисел, где первое число будет частотой в МГц, а второе – пиковым значением амплитуды в единицах, соответствующих размерности вертикальной шкалы. Программная клавиша **Load** позволяет оператору загрузить ранее сохраненные пользовательские настройки.

Рис. 165. Сохранение спектрограммы в виде файла BITMAP.

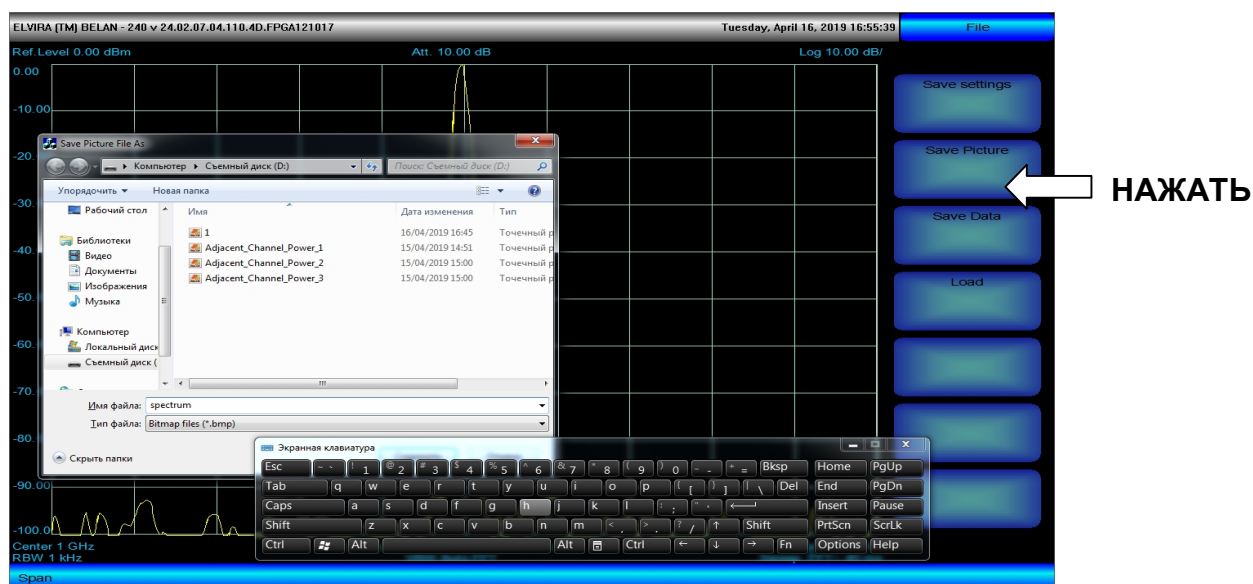
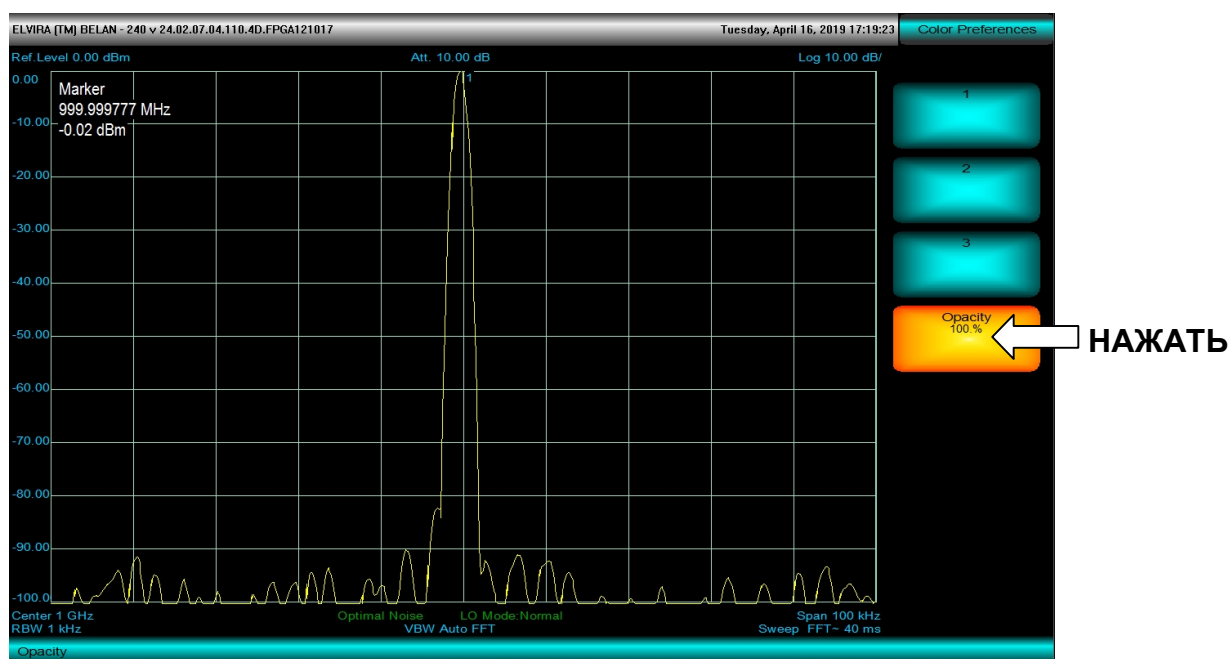


Рис. 166. Изменение цветовой схемы программного меню.

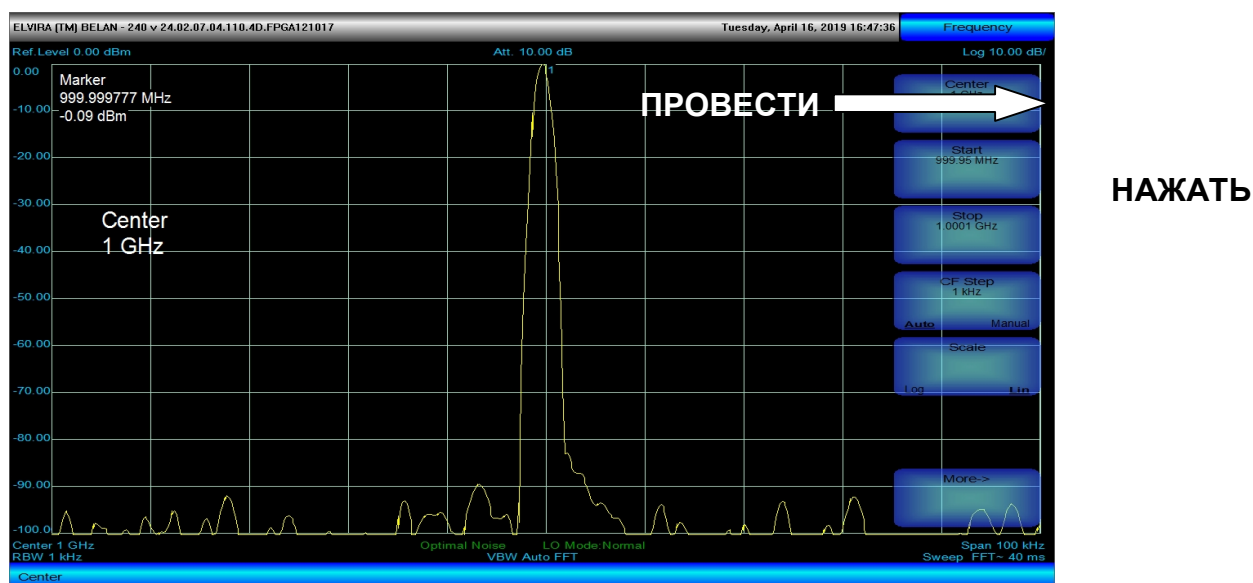


Работа с файлами осуществляется при помощи стандартных диалоговых окон операционной системы Windows. Если необходимо, например, сохранить файл BITMAP, следует нажать программную клавишу

Save Picture, после чего на экране появится диалоговое окно, где можно задать имя файла и путь для его сохранения (см. рисунок 165). Для ввода имени файла можно использовать либо виртуальную клавиатуру и сенсорный экран, либо аппаратную клавиатуру, подключаемую через интерфейс USB.

Программная клавиша **Color** позволяет изменить цветовую схему меню программных клавиш в зависимости от вкусовых предпочтений оператора (см. рисунок 166). Доступны 3 различные цветовые схемы. Программная клавиша **Opacity** позволяет регулировать прозрачность программных клавиш путем ввода числового значения непрозрачности в процентах или путем изменения данного значения при помощи рукоятки плавной регулировки. 100% соответствует полной непрозрачности.

Рис. 167. Режим выезжающей панели программных клавиш.



Программная клавиша **Fix Buttons** позволяет сделать панель программных клавиш выезжающей (см. рисунок 167). По умолчанию режим данной клавиши **On**, то есть положение панели программных клавиш является фиксированным. Нажатие данной клавиши отменяет фиксацию положения панели. При этом скользящее движение вправо пальцем по панели программных клавиш уберет данную панель из видимой области экрана, что визуально позволит расширить спектрограмму. Нажатие любой кнопки на передней панели прибора вернет меню программных клавиш обратно.

3. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ

Допускается транспортировка анализатора всеми видами транспорта в упакованном виде при температуре окружающего воздуха от минус 25°C до плюс 55°C, относительной влажности воздуха до 95% при 25°C и атмосферном давлении 70 – 106,7 кПа (537 – 800 мм ртутного столба).

При транспортировании должна быть предусмотрена защита от атмосферных осадков. Не допускается кантование.

При транспортировании воздушным транспортом приборы в упаковке должны располагаться в герметизированных отапливаемых отсеках.

При длительном хранении на складах (более одного года) приборы должны находиться в упаковке и содержаться в капитальных отапливаемых помещениях. Температура от 0°C до плюс 40°C, относительная влажность до 80 % при температуре плюс 35°C.

В помещениях для хранения не должно быть паров кислот, щелочей и агрессивных газов, вызывающих коррозию.

4. ГАРАНТИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ

Производитель гарантирует соответствие анализатора требованиям раздела 1.3 настоящего руководства при соблюдении условий эксплуатации, хранения и транспортирования.

Гарантийный срок эксплуатации - не менее 36 месяцев со дня ввода анализатора в эксплуатацию.

Гарантийный срок хранения - 6 месяцев с момента изготовления.

АО ПФ «ЭЛВИРА»

143983, Московская обл., г. Балашиха,
мкр. Керамик, ул. Заводская, д.10, стр.1

Телефон / факс: (498) 664-25-38, (495) 527-13-05

Электронная почта: elv@elvira.ru

Страница в сети интернет: www.elvira.ru