

Анализаторы спектра СК4-БЕЛАН 32М, СК4-БЕЛАН 70М

Руководство по эксплуатации ЕЛКБ. 402161.732РЭ

Версия от 23.12.2014



Предприятиеизготовитель: Адрес:

Телефон:

Факс: Электронная почта: Сайт: ЗАО ПФ «ЭЛВИРА»

Россия, г. Железнодорожный, 143983, ул. Заводская, 10, стр. 1 +7(495) 748-24-33 +7(495) 748-24-34 +7(495) 748-24-34 elv@elvira.ru www.elvira.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ЧАСТЬ	1. ВВОДНАЯ	4
1.1	Назначение средства измерений	4
1.2	Описание средства измерений	4
1.3	Перечень устанавливаемых опций	4
1.4	Программное обеспечение	5
1.5	Метрологические и технические характеристики	5
1.6	Знак утверждения типа	7
1.7	Комплектность средства измерений	7
1.8	Поверка	8
1.9	Сведения о нормативных документах	8
1.10	Маркирование и пломбирование	9
1.11	Указания мер безопасности	9
1.12	Транспортирование и хранение	9
1.13	Гарантии изготовителя	9
ЧАСТЬ	2. БАЗОВАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ	10
2.1	Общие указания по вводу в эксплуатацию	10
2.2	Описание органов управления	11
2.2.1	Компоновка передней панели	11
2.2.2	Дисплей	12
2.2.3	Секция функциональных клавиш	13
2.2.4	Секция ввода данных	14
2.2.5	Секция клавиш основных параметров	14
2.2.6	Секция маркерных клавиш	15
2.2.7	Секция клавиш шагового изменения данных	15
2.2.8	Секция клавиш управления графиками	16
2.2.9	Секция системных клавиш	16
2.2.10	Разъемы на передней панели	17
2.2.11	Компоновка задней панели	18
2.3	Начало работы	19
2.3.1	Включение прибора	19
2.3.2	Выключение прибора	19
2.3.3	Работа с меню и ввод данных	20
2.4	Базовые измерительные операции	21
2.4.1	Установка частотных параметров	21

2.4.2	Установка полосы обзора	25
2.4.3	Контроль амплитудных параметров	27
2.4.4	Управление маркерами	31
2.4.5	Регулировка полосы пропускания и усреднение	38
2.4.6	Управление разверткой	43
2.4.7	Управление графиками	46
2.4.8	Управление детекторами и демодуляторами	49
2.4.9	Управление состоянием прибора	54
2.4.10	Сохранение файлов и работа с системным меню	55
ЧАСТЬ	3. РАСШИРЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ	58
3.1	Измерение коэффициента шума усилителей	59
3.1.1	Измерение коэффициента шума. Теоретические сведения	59
3.1.2	Измерение коэффициента шума усилителей. Практические измерения	64
3.2	Измерение модуля коэффициента передачи и отражения при помощи следящего генератора. Общие сведения.	83
3.2.1	Измерение модуля коэффициента передачи и отражения с опцией 002	83
3.2.2	Измерение модуля коэффициента передачи и отражения с опцией 020	94
3.3	Стандартные автоматические измерения	98
3.3.1	Измерение частоты в режиме счетчика	100
3.3.2	Измерение девиации	101
3.3.3	Измерение ширины полосы, занимаемой сигналом	103
3.3.4	Измерение мощности в канале	104
3.3.5	Измерение мощности в соседнем канале	106
3.3.6	Измерение гармонических искажений	108
3.3.7	Измерение глубины АМ	110
3.3.8	Измерение фазовых шумов	112

ЧАСТЬ 1. ВВОДНАЯ

Настоящее руководство по эксплуатации предназначено для изучения технических возможностей, особенностей конструкции и правил эксплуатации анализаторов спектра «СК4-БЕЛАН 32М», «СК4-БЕЛАН 70М».

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 32М, СК4-БЕЛАН 70М предназначены для измерения параметров спектра высокочастотных радиотехнических сигналов.

1.2 Описание средства измерений

Принцип действия основан на последовательном супергетеродинном преобразовании входного высокочастотного сигнала на промежуточных частотах в сигнал низкой частоты с выделением его огибающей. Для развертки спектра используется высокостабильный генератор качающейся частоты синтезаторного типа, синхронизация которого осуществляется от внутреннего кварцевого генератора или от внешнего источника сигнала. Для точной настройки используются цифровые фильтры. Мгновенные значения напряжения низкой частоты **УЗКОПОЛОСНЫЕ** преобразуются аналого-цифровым преобразователем в цифровой код И отображаются на цветном жидкокристаллическом дисплее в виде спектрограммы, параметры которой задаются пользователем с лицевой панели либо дистанционно через интерфейс.

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

Анализаторы спектра СК4-БЕЛАН 32М, СК4-БЕЛАН 70М 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, приведенные в Таблице 1:

<u>Таблица 1.</u>

001	опорный генератор 10 МГц повышенной стабильности
002	следящий генератор с диапазоном частот от 10 МГц до 3,2 ГГц
020	следящий генератор с диапазоном частот от 10 МГц до 3,2 ГГц и встроенный мост для измерения обратных потерь (КСВН)
004	программное обеспечение для управления по интерфейсу RS-232
005	предварительный усилитель с диапазоном частот от 10 МГц до 3,2 ГГц
006	программное обеспечение для измерения коэффициента шума усилителей модуляционным методом (Ү-фактор) с применением

	внешнего генератора шума
007	расширение нижней границы частотного диапазона до 10 Гц
008	преселектор и предварительный усилитель с диапазоном частот от 10 МГц до 3,2 ГГц

Примечание: из двух опций 005 и 008 может быть установлена только одна по выбору

1.4 Программное обеспечение

Программное обеспечение, установленное на внутренний контроллер, работает под управлением операционной среды Windows, выполняет функции управления параметрами отображения и обработки измерительной информации. Общие сведения о программном обеспечении приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

уровень защиты	«низкий» по WELMEC 7.2 (класс риска А)
идентификационное	СК4-БЕЛАН
наименование	
идентификационный номер	V32.02 и выше
версии	

1.5 Метрологические и технические характеристики

Таблица 3.

диапазон частот	
СК4-БЕЛАН 32М	от 9 кГц до 3,2 ГГц
СК4-БЕЛАН 32М с опцией 007	от 10 Гц до 3,2 ГГц
СК4-БЕЛАН 70М	от 9 кГц до 7 ГГц
СК4-БЕЛАН 70М с опцией 007	от 10 Гц до 7 ГГц
разрешение по частоте	1 Гц
пределы допускаемой погрешности частоты опорного генерато	ра в рабочем
диапазоне температур при выпуске из производства и после за	водской подстройки
стандартное исполнение	$\pm 5.10^{-7}$
опция 001	± 3.10 ⁻⁸
пределы допускаемого дрейфа частоты опорного генератора за	а 1 год
стандартное исполнение	$\pm 1.10^{-6}$
опция 001	$\pm 1.10^{-7}$
вход внешней синхронизации (опция 001)	
частота сигнала	10 МГц ± 100 Гц
уровень сигнала	от 0 до + 10 дБм ¹
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	5:1
более	

полоса видеофильтра (с шагом, кратным 10)	от 10 Гц до 100 кГц	
уровень фазовых шумов на частоте 1 ГГц, не более		
при отстройке на 10 кГц	– 115 дБн/Гц ²	
при отстройке на 1 МГц	— 140 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)	О от 0 до 50 дБ	
пределы допускаемой погрешности измерения уровня		
от – 30 до 0 дБм на частоте 50 МГц (ослабление аттенюатора 10 дБ)	± 0,5 дв 	
погрешность измерения уровня, связанная с переключением		
ослабления аттенюатора, не более	± 0.5 дБ	
неравномерность амплитудно-частотной характеристики отно	сительно уровня на	
частоте	,	
50 МГц (ослабление аттенюатора 10 дБ), не более		
на частотах от 9 кГц до 3,2	± 0,5 дБ	
на частотах от 3.2 до 7 ГГц	± 1.0 дБ	
диапазон вертикальной шкалы дисплея	от 1 до 10 делений	
масштаб вертикальной логарифмической шкалы дисплея	от 0.01 до 20 дБ/дел.	
погрешность измерения уровня, связанная с нелинейностью		
логарифмической шкалы, не более	± 0,5 дБ	
усредненный уровень собственных шумов,		
нормализованный к полосе пропускания 1 Гц,		
при ослаблении аттенюатора 0 дБ, не более		
стандартное исполнение; опции 005, 008 с выключенным усилителем	предварительным	
на частотах от 9 до 100 кГц	– 135 дБм	
на частотах от 100 кГц до 10 МГц	– 145 дБм	
на частотах от 10 МГц до 2 ГГц	– 150 дБм	
на частотах от 2 ГГц до 7 ГГц	– 145 дБм	
опция 005 с включенным предварительным усилителем		
на частотах от 10 МГц до 2 ГГц	– 167 дБм	
на частотах от 2 ГГц до 3,2 ГГц	– 166 дБм	
опция 008 с включенным предварительным усилителем		
на частотах от 10 МГц до 2 ГГц	– 162 дБм	
на частотах от 2 ГГц до 3,2 ГГц	– 157 дБм	
уровень гармонических искажений второго порядка		
(уровень сигнала на смесителе ≤ – 30 дБм), не более	– 70 дБн	
уровень интермодуляционных искажений третьего порядка		
(частота 1 ГГц, уровень двухтонального сигнала – 20 дБм,		
ослабление аттенюатора 0 дБ, разность частот 30 кГц), не		
более	– 60 дБн	
уровень помех, не связанных с входом (согласованная	100 F	
нагрузка, ослабление аттенюатора 0 дБ), не более	– 100 дБм	
уровень негармонических помех, связанных с входом		
полоса обзора ≤ 1 ГГц), типовое значение, не более	– 70 дБн	
КСВН входа при ослаблении аттенюатора не менее 10 дБ,		
типовое значение, не более	2,0	

СЛЕДЯЩИЙ ГЕНЕРАТОР (опции 002, 020)			
диапазон частот от 10 МГц до 3,2 ГГ			
уровень мощности на выходе			
опция 002	от – 5 до + 5 дБм		
опция 020	от – 50 до + 5 дБм		
пределы допускаемой погрешности установки уровня	± 2,5 дБ		
	± 2,0 ДБ		
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ			
тип высокочастотных соединителей	N(f); 50 Ом		
размер дисплея	170 мм х 130 мм		
разрешение дисплея, пиксель	800 x 600		
габаритные размеры (ширина х высота х глубина), мм	405 x 216 x 385		
масса, не более	15 кг		
параметры электропитания			
напряжение сети	(220 ± 22) B		
частота сети	(50 ± 0,5) Гц		
потребляемая мощность, не более	110 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			
безопасность по ГОСТ Р 52319-2			

примечание 1: здесь и далее сокращение «дБм» обозначает уровень мощности сигнала в дБ относительно мощности 1 мВт

примечание 2: здесь и далее сокращение «дБн» обозначает уровень мощности сигнала в дБ относительно уровня мощности на центральной (несущей) частоте

1.6 Знак утверждения типа

Знак утверждения типа наносится на заднюю панель корпуса в левом верхнем углу в виде наклейки и на титульный лист руководства по эксплуатации типографским способом.

1.7 Комплектность средства измерений

наименование и обозначение	кол-во
анализатор спектра СК4-БЕЛАН 32М / СК4-БЕЛАН 70М	1 шт.
опции	по заказу
кабель сетевой	1 шт.
паспорт ЕЛКБ. 402161.732ПС	1 шт.
руководство по эксплуатации ЕЛКБ. 402161.732РЭ	1 шт.
методика поверки МП РТ 2028-2013	1 шт.
гарантийный талон	1 шт.
упаковочная коробка	1 шт.
дополнительные принадлежности	по заказу

1.8 Поверка

Поверка осуществляется по документу «МП РТ 2028-2013. Анализаторы спектра СК4-БЕЛАН 32М, СК4-БЕЛАН 70М. Методика поверки», утвержденному руководителем ГЦИ СИ ФБУ «Ростест-Москва» 26.12.2013 г.

Средства поверки:

средство поверки и требования к его	рекомендуемое средство поверки и его
метрологическим характеристикам	метрологические характеристики
стандарт частоты	<u>стандарт частоты рубидиевый</u>
относительная погрешность частоты	Stanford Research Systems FS725
10 МГц не более ± 5⋅10 ⁻⁹ ;	выходной сигнал частотой 10 МГц;
уровень сигнала от 0 до + 10 дБм	годовой дрейф частоты не более ± 1·10 ⁻¹⁰ ;
	уровень сигнала + 7 дБм
генератор сигналов ВЧ	<u>генератор сигналов Agilent E8257D с</u>
диапазон частот от 10 МГц до 7 ГГц;	<u>опциями 520, 1E1</u>
диапазон уровня от – 50 до + 10 дБм;	диапазон установки уровня от – 135 до +
уровень фазовых шумов на частоте 1 ГГц	14 дъм на частотах от 10 МI ц до 20 Г Ц;
при отстройке 10 кГц не более – 125	ровень фазовых шумов на частоте т тт ц при отстройке 20 кГц не более – 130
дБн/Гц;	дБн/Гц;
вход синхронизации 10 МГц	вход синхронизации 10 МГц
генератор сигналов ВЧ	<u>генератор сигналов Agilent N9310</u>
диапазон уровня от – 20 до – 10 дБм	диапазон частот от 9 кГц до 3 ГГц;
на частоте 1 ГГц;	диапазон уровня от – 127 до + 13 дБм;
вход синхронизации 10 МГц	вход синхронизации 10 МГц
<u>генератор сигналов НЧ</u>	генератор сигналов произвольной формы
неравномерность АЧХ в полосе частот от	Agilent 33250A
10 кГц до 10 МГц не более ± 0,15 дБ	неравномерность АЧХ в полосе частот от
	1 кГц до 10 МГц не более ± 0,1 дБ
аттенюатор ступенчатый	комплект аттенюаторов TRI-50N
погрешность ослабления от 0 до 100 дБ	погрешность действительных значений
на частоте 50 МГц не более ± 0,15 дБ	ослабления от 0 до 100 дБ на частоте 50
	МГц не более ± 0,1 дБ
ваттметр проходящей СВЧ мощности	ваттметр проходящей мощности СВЧ
относительная погрешность измерения	Rohde & Schwarz NRP-Z28
мощности от – 30 до 0 дБм частотой	относительная погрешность измерения
от 10 МГц до 7 ГГц не более ± 0,15 дБ	мощности от – 67 до + 20 дБм частотой
	от 10 МГц до 18 ГГц не более ± 0,15 дБ
ваттметр поглощаемой СВЧ мощности	преобразователь измерительный Rohde
относительная погрешность измерения	<u>& Schwarz NRP-Z21</u>
уровня мощности от – 50 до + 5 дБм в	относительная погрешность измерения
диапазоне частот от 10 МГц до 7 ГГц не	мощности от – 50 до + 23 дБм в диапазоне
более ± 0,5 дБ	частот от 10 МГц до 18 ГГц не более ± 0,25
	дБ

1.9 Сведения о нормативных документах

ГОСТ 22261-94 «Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия».

ГОСТ 8.129-99. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты.

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.

1.12 Транспортирование и хранение.

Допускается транспортирование 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 находится в упаковке и содержаться в капитальных отапливаемых помещениях. Температура от 0°С до плюс 40°С, относительная влажность до 80 % при температуре плюс 35°С.

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

1.13 Гарантии изготовителя

Изготовитель гарантирует соответствие анализатора требованиям раздела 2 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.

ЧАСТЬ 2. БАЗОВАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ.

2.1 Общие указания по вводу 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 плавной регулировки данных;
- 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 Описание органов управления

2.2.1 Компоновка передней панели

Передняя панель включает в себя следующие элементы:



- 1) Дисплей
- 2) Программные клавиши
- 3) Секция функциональных клавиш
- 4) Секция ввода данных
- 5) Секция клавиш основных параметров
- 6) Секция клавиш управления графиками
- 7) Рукоятка плавной регулировки данных
- 8) Секция клавиш шагового изменения данных
- 9) Разъемы USB
- 10) Разъем для подключения наушников
- 11) Регулятор громкости
- 12) Выход следящего генератора (опция)
- 13) Секция маркерных клавиш
- 14) Выход опорного источника 100 МГц
- 15) РЧ входной разъем
- 16) Кнопка включения / выключения питания

2.2.2 Дисплей

В данном разделе приводятся комментарии к надписям и графическим элементам, отображаемым на дисплее.



- 1) Опорный уровень
- 2) Версия программного обеспечения
- 3) Значение ослабления аттенюатора
- 4) График спектра исследуемого сигнала
- 5) Дата и время измерения
- 6) Тип и масштаб вертикальной шкалы
- 7) Значение измеренного маркером параметра
- 8) Программные клавиши
- 9) Полоса фильтра ПЧ
- 10) Значение центральной частоты
- 11) Полоса видеофильтра
- 12) Строка служебных сообщений
- 13) Время развертки
- 14) Полоса обзора

2.2.3 Секция функциональных клавиш

Рисунок 3.



1 - Клавиша НАЧ. УСТ.	Используется	для	возврата	К	начальным
(заводским) установкам.					
2 - Клавиша ИЗМЕР.	Используется	для вь	ізова меню	спеі	цифических
	видов измер мощности.	ений, о	тносящихся	К	частоте и
3 - Клавиша ДЕТ./ДЕМ.	Используется демодуляторо	для вь в.	юбора типов	в дет	гекторов и
4 - Клавиша РЕЖИМ	Используется	для п	ерехода в	ΟΠL	циональные
	режимы раб ПЭМИН ¹).	оты при	ибора (вект	горны	й анализ,
5 - Клавиша ФПЧ	Используется	для выбо	ора фильтро	вПЧ	и видео, а
	также для усреднений.	установк	и требуем	ого	количества
6 - Клавиша РАЗВ.	Используется	для устан	ювки типа ра	зверт	гки
	(однократная і	или непре	ерывная), вре	емени	1 развертки
	в автоматическом и ручном режимах, а также для				
	запуска развертки от внешнего источника.				
7 - Клавиша СЛЕД.ГЕН.	Используется	для входа	а в опционал	ьное	меню
	следящего ген	ератора.			
8 - Клавиша СОХР./ЗАГР.	Используется	для сохра	анения измер	сеннь	іх графиков
	в различных форматах во встроенную память				
	прибора и на с	съемные і	накопители и	інфор	мации.

Примечание: на момент редакции данного РЭ эти режимы в приборе не реализованы

2.2.4 Секция ввода данных

Рисунок 4.



3 - Клавиша СБРОС Используется для удаления данных, которые оператор ввел с ошибкой.

2.2.5 Секция клавиш основных параметров

Рисунок 5.

частотных



- 1 Клавиша ЧАСТ.
- 2 Клавиша ОБЗОР

частоты, шага по частоте и типа частотной шкалы (логарифмическая или линейная). Устанавливает полосу обзора относительно центральной частоты, а также используется для активации двухоконного режима детального

параметров: центральной, начальной, конечной

установки

для

3 - Клавиша **АПМЛ.** Используется для установки опорного уровня, ослабления входного аттенюатора, масштаба, типа и размерности вертикальной шкалы.

обзора.

Используется

2.2.6 Секция маркерных клавиш

Рисунок 6.



2.2.7 Секция клавиш шагового изменения данных

Рисунок 7.



 Клавиши шагового изменения данных
 Рукоятка плавной регулировки данных Используются для изменения данных с определенным шагом. Позволяет плавно перемещать маркер, изменять текущее значение частоты, полосы обзора, опорного уровня и т.д.

2.2.8 Секция клавиш управления графиками

Рисунок 8.



2.2.9 Секция системных клавиш

Рисунок 9.



- 1 Клавиша НАСТР.
- 2 Клавиша СИСТ.

Используется для калибровки прибора (при наличии служебного пароля).

Используется для получения системной информации о приборе.

2.2.10 Разъемы на передней панели

Рисунок 10.



1 – Разъемы USB Используются для подключения съемных накопителей информации, мыши, клавиатуры. 2 - Разъем ТЛФ Используется для съема сигнала с выхода демодуляторов на наушники. 3 – Регулятор громкости Используется для плавной регулировки громкости демодулированного сигнала. 4 – Выход следящего генератора Используется для измерения модуля коэффициента передачи и отражения четырехполюсника (опция). 5 – Выход опорного генератора Позволяет вывести на переднюю панель сигнал 100 МГц опорного источника 100 МГц с уровнем -10 дБм для проверки точности установки частоты прибора. 6 – РЧ вход Используется для подачи на вход прибора анализируемого сигнала.

2.2.11 Компоновка задней панели

Рисунок 11.



17 – Разъем питания
 18 – Тумблер питания
 Включает прибор в режим выжидания и выключает его.

2.3 Начало работы

2.3.1 Включение прибора

Правильная последовательность действий при включении прибора следующая:

- 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. Дождаться окончания загрузки программного обеспечения (время около 2 минут).

Если Вы уже работали с анализатором, то по включении устанавливаются параметры, соответствующие последнему измерению.

При нажатии на клавишу **НАЧ.УСТ.** будут установлены начальные заводские настройки.

2.3.2 Выключение прибора

Правильная последовательность действий при включении прибора следующая:

- 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, а работа прибора будет остановлена. Чтобы устранить эту неисправность можно подключить к USB разъему на передней панели стандартную клавиатуру для и нажать на этой клавиатуре клавишу "ввод". Если такой клавиатуры в наличии нет, то можно просто выключить и включить прибор заново.

2.3.3 Работа с меню и ввод данных

Для ввода данных и управления прибором в процессе измерений используются клавиши передней панели. Большинство клавиш имеет жесткое функциональное назначение. Например, клавиша **ЧАСТ.** всегда открывает программное меню **Частота**. Однако есть группа клавиш (секция программных клавиш), которые каждый раз изменяют свое функциональное назначение в зависимости от выведенного на экран анализатора программного меню. Конкретное назначение программной клавиши определяется пунктом программного меню (прямоугольник голубого цвета с текстом внутри), который отображается на дисплее слева по горизонтали от данной клавиши перед ее нажатием (как показано на рисунке 12).

Рисунок 12.



В дальнейшем при описании различных измерительных операций под программной клавишей будет подразумеваться совокупность аппаратной клавиши, расположенной в секции программных клавиш, и соответствующего ей в данный момент пункта программного меню.

Рисунок 13.



Пункт программного меню содержит внутри три вида текстовой информации (см. рисунок 13). Основной текст определяет параметр, на который осуществляется воздействие путем нажатия программной клавиши. Ниже основного текста выводится текущее значение параметра (если оно существует). Ниже текущего значения выводится режим параметра (автоматический, ручной или же какой-либо другой, применимый для данного параметра). Установленный режим обозначен красным шрифтом с подчеркиванием.

2.4 Базовые измерительные операции

2.4.1 Установка частотных параметров

Для ввода и редактирования частотных параметров следует нажать на клавишу **ЧАСТ.** в секции клавиш основных параметров. При этом на экране появится изображение, приведенное на рисунке 14.



Рисунок 14.

Нажимая на соответствующие программные клавиши, можно установить начальную, конечную и центральные частоты развертки, анализатора, установить требуемый шаг по частоте, тип шкалы (линейный или логарифмический), а также включить режим работы прибора от нижней граничной частоты 10 Гц (если установлена опция 007).

Рисунок 15.



Ввод числового значения частоты осуществляется путем нажатия соответствующих цифровых клавиш секции ввода данных. При первом нажатии клавиши секции ввода данных появляется меню размерности частоты (Гц, кГц, МГц, ГГц), как показано на рисунке 15. После набора необходимого числового значения нажмите программную клавишу требуемой размерности. Заданная частота будет установлена на анализаторе спектра.

 ELVIRA (TM) BELAN - 32 M 07.04.52.02
 Thursday, January 23, 2014 14:09:33
 Частота

 Ур. 0.00 дБм
 Аттен 20.00 дБ
 Лог. 10.00 дБ/дел

 Маркер
 515.587444 МГц
 100 дБ
 100 дБ

 -0.37 дБм
 100 дБ
 100 дБ
 100 дБ

 -0.37 дБ
 110 дБ
 100 дБ
 100 дБ

 -0.37 дБ
 100 дБ
 100 дБ
 100 дБ

 -0.37 дБ
 100 дБ
 100 дБ
 100 дБ
 100 дБ

 -0.11 МГЦ
 100 дБ
 100 дБ
 100 дБ
 100 дБ
 100 дБ

 -0.11 МГЦ
 100 дБ
 100 дБ
 100 дБ
 100 дБ
 100 дБ
 100 дБ

 -0.11 МГЦ
 100 дБ
 100 дБ
 100 дБ

Рисунок 16.

Программная клавиша **Шаг ЦЧ** позволяет ввести произвольное значение шага частоты, с которым будет осуществляться приращение или уменьшение центральной, начальной или конечной частоты. Частота будет изменяться с заданным шагом при помощи рукоятки плавной регулировки или клавиш шагового изменения данных. Использование произвольного шага по частоте в сочетании с клавишами шагового изменения данных позволяет существенно сократить время измерений, когда необходимо снять частотную зависимость какого-либо параметра объекта измерения. В этом случае рабочую полосу объекта измерения целесообразно разбить на ряд узловых частотных точек, перемещение между которыми будет осуществляться с заданным шагом.

Пункт меню Смещение Нуля позволяет ввести частоту смещения по частоте при использовании внешнего смесителя.

Пункт меню **Тип Шкалы** позволяет устанавливать вид шкалы частот: линейный или логарифмический. Логарифмический режим целесообразно использовать, когда нужно с высокой степенью детализации просматривать низкочастотный и высокочастотный диапазоны одновременно (см. рисунок 16).

Если СК4-БЕЛАН 32М/70М дополнительно оснащен опцией 007, то в меню **Частота** активируется программная клавиша **Откр.Вход.** При нажатии на эту клавишу будет включен или выключен режим открытого входа. Аппаратно в режиме открытого входа измеряемый сигнал в приборе направляется в обход разделительного конденсатора, который по умолчанию защищает входные каскады анализатора от постоянного тока, однако ослабляет сигналы с частотой ниже 9 кГц. Режим открытого входа позволяет измерять сигналы с нижней граничной частотой от 10 Гц.

Чувствительность СК4-БЕЛАН 32М/70М на частотах вблизи DC в режиме открытого входа будет определяться следующими факторами: подавлением первого гетеродина в первом смесителе, уровнем фазовых шумов прибора на ближних отстройках от собственного нуля, наличием узкополосных фильтров 1 Гц и 3 Гц, а также требуемым соотношением сигнал-шум.

Типовые значения указанных параметров следующие. Первый смеситель СК4-БЕЛАН 32М обычно обеспечивает подавление первого гетеродина на 55 дБ относительно типового уровня мощности первого гетеродина +17 дБм. Уровень фазовых шумов гетеродинов прибора на отстройке 10 Гц от собственного нуля (фактическая частота первого гетеродина 4421.4 МГц) составляет не более -75 дБн/Гц в базовом исполнении. Избирательность фильтров 1 Гц и 3 Гц по уровням -60 дБ/-3 дБ составляет менее 5:1. Таким образом, уже на частоте 2,5 Гц АЧХ одногерцового фильтра, накрывающего собственный нуль, опускается на -60дБ относительно максимума. Данная величина оказывается более низкой, чем фазовые шумы собственных гетеродинов при такой отстройке, поэтому избирательность фильтров на частоте 10 Гц никакого влияния на шумовую дорожку не оказывает.

ELVIRA (TM) BELAN - 32 M 07.04.52.02 Thursday, January 23, 2014 14:12:27 Частота 0.00 дБм Цен. Частота Маркер 7. ГЦ 7. Гц† -58.04 дБм Нач. Частота 2. Fu Частота 12. Гц Шаг ЦЧ 1. ГЦ РУ 71 Смещ. Нуля 0. Гц Тип Шкалы Лин Откр. Вход Обзор ВΦ 10. Гц Цен. Частота

Рисунок 17.

Можно рассчитать, что типовая шумовая дорожка на частоте 10 Гц у СК4-БЕЛАН 32М будет проходить на уровне -113 дБм при ФПЧ 1 Гц. Это означает, что на частоте 10 Гц возможны измерения сигналов с уровнем до -90дБм при соотношении сигнал-шум в 23дБ (и даже сигналов с меньшим уровнем при худшем соотношении сигнал-шум).

На более высоких частотах (100 Гц, 1 кГц) чувствительность прибора будет улучшаться, поскольку фазовые шумы прибора по мере роста отстройки от нуля будут снижаться. На частоте 10 МГц фазовые шумы гетеродинов прибора влияния на чувствительность уже не оказывают, а решающее значение приобретает коэффициент шума тракта частотного преобразования

В режиме открытого входа не следует использовать значения опорного уровня ниже минус 20 дБм, поскольку это вызовет перегрузку канала ПЧ сигналом собственного нуля. Если исследуемый сигнал имеет амплитуду менее 710нВ (-110 дБм или одна клетка от нижней границы масштабной сетки при опорном уровне -20 дБм), а прибор на

данной частоте визуально имеет запас по чувствительности (шумы проваливаются за экран), то для проведения измерений нужно использовать увеличение вертикального масштаба.

Также при амплитудных измерениях на низких частотах следует иметь в виду, что величина измеряемого сигнала не может совпадать со значением опорного уровня, в противном случае будет возникать перегрузка канала ПЧ суммарной мощностью собственного нуля и измеряемого сигнала. Для корректных амплитудных измерений измеряемый сигнал должен быть ниже опорного уровня минимум на 10дБ. Пример правильного измерения уровня сигнала с частотой 7 Гц показан на рисунке 17.

Таким образом, максимальный уровень сигнала, который можно достоверно измерить на низких частотах на СК4-БЕЛАН 32М, оснащенном опцией 007, составляет +20 дБм (2,23 В СКЗ), данная величина определяется максимальным устанавливаемым значением опорного уровня в +30 дБм.

2.4.2 Установка полосы обзора

Для установки полосы обзора относительно центральной частоты необходимо в секции клавиш основных параметров нажать на клавишу **ОБЗОР.** При этом на дисплее появляется изображение, приведенное на рисунке 18.

Рисунок 18.



Требуемое значение полосы обзора вводится аналогично процедуре установки частоты. Также можно изменять обзор автоматически при помощи рукоятки плавной регулировки данных или клавиш шагового изменения данных. При изменении полосы обзора анализатор спектра будет автоматически изменять значение фильтра ПЧ и времени развертки.

Установка полного или нулевого обзора производится нажатием на соответствующие программные клавиши (Полный и Нулевой, соответственно).

Нулевой обзор означает отсутствие развертки первого гетеродина анализатора спектра, при этом режим БПФ будет автоматически отключен. 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 **Растяжка**, активируемый при помощи соответствующей программной клавиши, позволяет в деталях рассмотреть определнный участок в спектре анализируемого сигнала при сохранении на экране изображения исходного спектра. При включении данного режима появляется новое окно, для которого могут быть установлены индивидуальные значения фильтра ПЧ, полосы обзора, опорного уровня, масштаба по вертикали. Границы детально исследуемого участка спектра в исходном окне будут отмечены красными вертикальными линиями. Переход между окнами осуществляется нажатием программной клавиши **Переход Верх. Низ.** Активное окно будет обведено рамкой зеленого цвета. Развертка и маркерные измерения будут осуществляться только в активном окне. В это время график в неактивном окне замораживается.

Рисунок 19.



Режим растяжки целесообразно использовать для анализа тонкой структуры сигнала с импульсной модуляцией. Используя растяжку, можно в одном окне при помощи дельта маркера и маркерной функции 1/f измерять длительность модулирующего импульса, а в другом – его частоту и период следования. Измерения радиоимпульса длительностью 1 мксек и периодом повторения 20 мксек показаны на рисунках 19 и 20. Рисунок 20.



2.4.3 Контроль амплитудных параметров

Для контроля амплитудных параметров: величины опорного уровня, значения ослабления аттенюатора, вертикального масштаба, типа и размерности вертикальной шкалы, необходимо в секции клавиш основных параметров нажать на клавишу **АМПЛ.** При этом на дисплее появится изображение, приведенное рисунке 21.

Рисунок 21.



Для установки требуемой величины опорного уровня следует при помощи клавиш секции ввода данных набрать нужное значение. После ввода первой цифры появляется программное меню выбора размерности опорного уровня (дБм, -дБм, мВ, мкВ), как показано на рисунке 22. После выбора размерности при помощи соответствующей программной клавиши анализатор устанавливает заданное значение опорного уровня (см. рисунок 23, где на анализаторе выставлен опорный уровень -10 дБм). При этом аппаратно в приборе будет автоматически изменено значение входного аттенюатора и усиления в канале ПЧ.



Рисунок 22.

Изменять значение опорного уровня можно в автоматическом режиме, при помощи клавиш шагового изменения данных и рукоятки плавной регулировки. При каждом нажатии на клавиши шагового изменения данных («ВВЕРХ» или «ВНИЗ») значение опорного уровня будет изменяться на величину масштаба. Рукояткой плавной регулировки значение опорного уровня можно изменять на 1дБ.

Рисунок 23.



Для изменения величины ослабления аттенюатора в ручном режиме, необходимо набрать величину ослабления в децибелах (0, 10, 20, 30, 40 или 50) и нажать программную клаишу **дБ**, которая появляется после ввода первой цифры (см. рисунок 24). При этом в программном меню аттенюатора режим параметра изменится на ручной. Введенную величину можно проконтролировать по соответствующей надписи в верхней части дисплея.

Рисунок 24.



Следует помнить, что при измерениях, где возможно появление мощных сигналов, аттенюатор следует всегда переводить в автоматический режим. Кроме того, измерять мощные сигналы следует только при значениях опорного уровня, которые больше, чем максимальная амплитуда исследуемого сигнала. Аттенюатор 0 дБ следует использовать только при наблюдении заведомо слабых сигналов (-20 дБм).

Рисунок 25.



Для изменения масштаба по вертикали используется программная клавиша «**Масш./Дел**». Чтобы установить произвольную величину масштаба, необходимо нажать данную программную клавишу, ввести в секции ввода данных требуемое значение (например, 5 дБ) и завершить процедуру нажатием на программную клавишу соответствующей размерности. Введенную величину можно проконтролировать по показаниям в правом верхнем углу дисплея (см. рисунок 25).

Рисунок 26.



Тип масштаба (логарифмический или линейный) устанавливается при помощи программной клавиши «Масш. Тип». При переходе в линейный масштаб значение опорного уровня и маркера пересчитывается в Ватты или Вольты. Регулировать

положение графика на экране можно изменением величины опорного уровня. Клавиша Масш./Дел. становится при этом неактивной.

Рисунок 27.



Для того чтобы установить произвольную размерность вертикальной шкалы (дБм, дБмВ, дБмкВ, Ватт, Вольт), необходимо выполнить следующие действия: нажать программную клавишу «Разм. по Y», а затем – программную клавишу требуемой размерности (см. рисунок 27). Как видно из рисунка 28, прибор осуществляет автоматический пересчет показаний маркера и опорного уровня в соответствующие единицы измерения амплитуды, в данном случае, в Вольты. Логарифмический масштаб амплитуды при этом сохраняется.

2.4.4 Управление маркерами

Для вызова маркера необходимо нажать на клавишу **МРК** (или на клавишу **ПОИСК**) в секции маркерных клавиш. Если была нажата клавиша **МРК**, маркер # 1 появляется на экране на центральной частоте. Если же для активации маркера была нажата клавиша **ПОИСК**, на экран также выводится маркер #1, но он будет установлен на пик сигнала (который не обязательно приходится на центральную частоту – см. рисунок 28).



Рисунок 28.

Вызванный маркер становится активным и отмечен треугольником зеленого цвета с цифрой, соответствующей порядковому номеру маркера. Значение частоты и уровня сигнала в точке маркера выводится белым шрифтом в левом верхнем углу масштабной сетки.

Для изменения положения маркера на графике необходимо вращать рукоятку плавной регулировки данных. Также установить маркер можно путем введения частоты маркера. Если частота находится за пределами полосы обзора, маркер встанет на соответствующий край экрана.

Для вызова маркера №2 необходимо нажать на программную клавишу Уст. МРК. После этого маркер №2 становится активным. Таким образом можно последовательно вывести на экран до 8 маркеров. В левой части дисплея при этом будут отображаться частота и амплитуда последнего включенного маркера. Клавишей УДАЛ. секции маркерных клавиш можно удалить последний включенный маркер. Программной клавишей Убрать все можно удалить все включенные маркеры.

Чтобы переключаться между выведенными на экран маркерами, необходимо нажать на программную клавишу **Выбор.** При этом в текущем значении параметра этой программной клавиши будет отображаться номер активного маркера. Активным в конкретный момент времени может быть только один маркер. Вывести показания всех маркеров на экран можно при помощи программной клавиши **Таблица Вкл**. При нажатии на данную клавишу внизу на экране появляется таблица со значениями частоты и амплитуды всех ранее выведенных на экран маркеров (рисунок 29). Повторное нажатие на программную клавишу Таблица отключает таблицу маркеров.



При нажатии на программную клавишу **МРК Дельта** активируется дельта-маркер, с помощью которого можно проводить измерение разности амплитудных и частотных параметров между двумя маркерами (см. рисунок 30). Опорным в таких измерениях является маркер, который включили предпоследним. Маркеры сначала устанавливаются по центру экрана. Для смещения активного маркера необходимо вращать ручку настройки данных, либо задавать значение его отстройки от опорного с клавиатуры.



Рисунок 30.

Рисунок 29.

Следует отметить, что в режиме дельта-маркера всегда измеряется разность параметров только между двумя маркерами, которые были активированы последними.

В программном меню **Маркер** есть две программные клавиши, которые работают только в режиме дельта-маркера. Первая из них – это клавиша **МРК Шум**. Она позволяет измерить спектральную плотность мощности фазовых шумов исследуемого генератора в пересчете в полосу 1 Гц. Пример такого измерения показан на рисунке 31.

Рисунок 31.



Вторая программная клавиша – это **МРК 1/f**. Она предназначена для вычисления величины обратной частотному значению дельта-маркера. Эта функция очень удобна, например, при измерениях импульсно-модулированных сигналов. На рисунке 32 показано измерение разницы между центральной частотой радиоимпульса и его первым нулем и вычисление обратной функции этого числа, что соответствует длительности модулирующего импульса.

Рисунок 32.



Чтобы установить маркер на максимум сигнала, как уже отмечалось, следует нажать клавишу **ПОИСК**. При этом на экран будет выведено программное меню, показанное на

рисунке 33. Нажатие клавиши След. Пик Справа перемещает маркер на ближайший пик справа от сигнала. Аналогичным образом нажатие клавиши След. Пик Слева поставит маркер на ближайший пик слева от сигнала. Клавиша Поиск Мин позволяет установить маркер в точку измерительной трассы с минимальным уровнем.

Рисунок 33.



Программная клавиша **Линия Мин.** используется для установки порогового значения поиска. Горизонтальная пороговая линия белого цвета перемещается по вертикали при помощи клавиш шагового изменения данных («BBEPX» и «BHИЗ»). Если установлен порог, например, в -34 дБм, прибор будет игнорировать все пики с уровнем ниже указанного (см. рисунок 34). В действительности программную клавишу **Линия Мин.** следует всегда использовать при поиске соседних пиков относительно исследуемого сигнала. В противном случае, прибор будет интерпретировать как пики любые шумовые выбросы на измерительной трассе.

Рисунок 34.



При нажатии на клавишу Полоса дБ будет произведен расчет относительной полосы сигнала на заданном уровне ниже его максимума. При этом маркер должен быть

расположен на максимуме сигнала (см. рисунок 35). Уровень, на котором производится расчет полосы, отображается в программной клавише как текущее значение параметра.

Рисунок 35.



Программная клавиша **МАРКЕР->** секции маркерных клавиш предназначена для изменения частотных и амплитудных настроек прибора в соответствии с положением маркера.



Для того чтобы сделать центральную частоту настройки анализатора равной частоте маркера, следует установить маркер в интересующую точку графика (например, на пик сигнала, как показано на рисунке 36) и нажать клавишу **МРК->ЦЧ**. Данная процедура является одной из наиболее часто выполняемых операций на анализаторе спектра. Результат этой операции показан на рисунке 37.

Рисунок 36.

Аналогичным образом, для установки начальной частоты полосы обзора, равной частоте маркера, необходимо нажать программную клавишу **МРК->Старт**. Для установки конечной частоты полосы обзора, равной частоте маркера, необходимо нажать программную клавишу **МРК->Стоп**.

Рисунок 37.



Для того чтобы сделать значение опорного уровня анализатора равным амплитуде, измеренной в точке маркера, следует нажать клавишу **ПОИСК**, затем клавишу **МРК->,** а затем программную клавишу **МРК->Оп.Ур.** (см. рисунок 38).

ELVIRA (TM) BELAN - 32 M 07.04	14.52.02	Friday, January 24, 2014 16:42:21	Маркер->			
Ур. 10.00 дБм	Аттен 30.00 дБ	Лог.10.00 дБ/дел.				
Маркер			МРК->ЦЧ			
1.0000048 ГГц	<u>1</u>					
-0.18 дБм						
			МРК->Старт			
			MDI(> Otor			
			MPK->CION			
			МРК->Оп.Ур.			
	*1					
WMMMMmrMM AuronA	MMY YMM	WAMAN MANAMAN				
Центр 1.0000048 ГГц						
ФПЧ 30. кГц	ФПЧ 30. кГц Разв. 100. мс					
МРК->ЦЧ						

Рисунок 38.
Результат данной операции показан на рисунке 39. Эта функция обыкновенно используется для проведения измерений, требующих максимальной динамики анализатора: например, для измерения интермодуляционных искажений или измерения фазовых шумов (односигнальной динамики).



Рисунок 39.

2.4.5 Регулировка полосы пропускания и усреднение

Для изменения полосы пропускания, параметров видео фильтра, а также для выполнения усреднений необходимо нажать клавишу **ФПЧ**. На экран будет выведено программное меню, изображенное на рисунке 40.



Рисунок 40.

В анализаторах спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М 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 100 Гц (также с кратностью шага 1, 3, 10). По умолчанию для полос пропускания ≤300 Гц используются фильтры БПФ, а для полос пропускания более 300 Гц – цифровые фильтры разверточного типа. При работе с полосами пропускания от 10 Гц до 300 Гц пользователь может, вместо фильтров БПФ, включить разверточные фильтры, нажав на программную клавишу БПФ, которая выключает и включает автоматический режим выбора между двумя типами фильтров. Разверточные фильтры ≤300 Гц 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 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 **Авто** на **Руч**.

Для ввода значения ФПЧ (фильтра промежуточной частоты) или видео фильтра необходимо нажать соответствующую программную клавишу, ввести число с клавиатуры и завершить процедуру ввода выбором размерности. Также изменять ФПЧ

и видео фильтр можно при помощи кнопок шагового изменения данных и рукоятки плавной регулировки данных. Прибор в этом случае будет последовательно сужать или расширять полосу ПЧ или видео, используя ближайшие значения из набора доступных фильтров.

Рисунок 41.



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

ШУМ $\Delta_{, дБ} = 10 \log_{10} (\Phi \Pi H_1 / \Phi \Pi H_2)$

Этот эффект проиллюстрирован на рисунках 41-42. 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.

Рисунок 42.



Для усреднения измерительной трассы нужно нажать программную клавишу **Усред.**, затем ввести требуемое число усреднений (от 2 до 128) с клавиатуры и подтвердить ввод нажатием на клавишу **BBOД**. Результат 10 усреднений измерительного графика показан на рисунке 43. 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 44 и 45).



Для уменьшения зашумленности измерительной трассы можно также использовать сужение видео фильтра. Сужение видео фильтра в 10 раз эквивалентно проведению 10 усреднений (сравните рисунки 45 и 46). 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

Рисунок 44.

Рисунок 43.

(быстрой) развертки. Видеофильтрация привлекательна тем, что позволяет после одной развертки (более медленной) получить более точный результат.

Рисунок 45.



Программная клавиша **Полоса ФАП** позволяет оператору контролировать настройки петли ФАПЧ (фазовой автоподстройки частоты) первого синтезированного гетеродина. В анализаторах СК4-БЕЛАН 32М/70М ширина фильтра петли ФАПЧ автоматически изменяется в зависимости от полосы обзора для оптимизации профиля фазовых шумов. По умолчанию петля становится широкой (примерно 650 кГц) при полосах обзора <650 кГц и узкой (~100 кГц) при полосах обзора шире, чем 650 кГц. Значение параметра **АВТО** программной клавиши **Полоса ФАП** означает, что ширина петли регулируется автоматически. Оператор может регулировать полосу петли в ручном режиме, если того требует конкретное приложение. В этом случае значение параметра клавиши **Полоса ФАП** при последовательном нажатии будет меняться на **УЗКАЯ** или **ШИРОКАЯ**.



Рисунок 46.

Программная клавиша Убрать помеху используется для подавления ПСС (побочных спектральных составляющих), которые могут наблюдаться как паразитные дискретные

отклики на отстройках +/-500 кГц от измеряемого сигнала. Когда клавиша **Убрать помеху** включается или выключается, нежелательный паразитный сигнал может быть подавлен за счет того, что в приборе изменяется тактовая частота, подаваемая на цифровой синтезатор прямого синтеза, используемый в петле первого гетеродина. Этот метод, однако, не может гарантировать 100% вероятности подавления ПСС, поскольку он лишь позволяет изменить частотный план синтезатора прямого синтеза.

Пример успешного подавления паразитного отклика показан на рисунке 47.



Рисунок 47.

Ур. 0.00 дБм Аттен 20.00 дБ Лог. 10.00 дБ/дел. 100. Гц 100. Гц	ELVIRA (TM) BELAN	- 32 M 07.04.52.0	2	Monday, Januar	y 27, 2014 13:50:31	Пол./Уср).
Image: Sector of the secto	Ур. 0.00 дБм		Аттен 20.00 дБ		Пог.10.00 дБ/дел.		
						Фильтр П 100. Гц	Ч
Ф. Видео 100. Гц Центр. частота Усред. 250. МГЦ Вил. Вил. Выкл. Вил. Вил. Вил. Выкл. Вил.						Авто	Руч
Центр. частота Усред. 250. МГЦ Вкл. Шанта С. Полоса ФАП Авто Убрать помеху						Ф. Виде с 100. Гц)
Центр. частота Усред. 250. МГЦ Вкл. Вкл. Вкл.						Авто	Руч
250. МГЦ Вкл. Выкл. БПФ Авто. Выкл. Полоса ФАП АВТО Убрать помеху	Цент	о. частота				Усред. 1.	
	250.	МГЦ				Вкл. 📕	<u>ыкп.</u>
Выкл. Выкл. Выкл. Убрать помеху						БΠΦ	
Полоса ФАЛ АВТО Убрать помеху						<u>Авто.</u>	Выкл.
Убрать помеху						Полоса Ф/ АВТО	ЧП
Убрать помеху							
						Убрать пом	exy
			1. 1 hand			<u>Вкл.</u>	Выкл.
WANNALM MANNA NAVI "TAANA AMAA KAAMAAM	MARMAN		MA T	MAMAM	hallow Mm		
Центр 250. МГц Обзор 25. кГц Обзор 25. кГц	Центр 250. МГц ФПЧ 100 Го		B. 100 Eu		Обзор 25. кГц Рээв 2.56 с		
Цен. Частота	Цен. Частота				1 650. 2.00 C		

2.4.6 Управление разверткой

Для управления разверткой необходимо нажать на клавишу **РАЗВ.** в секции функциональных клавиш. При этом на экран будет выведено программное меню, показанное на рисунке 48.

ELVIRA (ELVIRA (TM) BELAN - 32 M 07.04.52.02 Wednesday, January 29, 2014 12:51:23												
Ур. 0.00	дБм			Аттен 2	20.00 дБ	,	J	Пог.10.0	ОдБ/дел.				
Маркер 1.00088	8888 FF4				1					Врем 1	ія Разв .75 с		
-0.10 дЕ	м									Авто		Руч	
										Раз	вёртка		
										Однокр	Henr	<u>ep</u>	
	Разв	ёртка								Гр	афик		
	1.75	C										Ĺ	
										Запус	к разв	۷	
	1												
ի Մեհել դեր	n di dala se	d	hr dhan r	. It is a factor of	. [and he also	od dlanada, d		, under ,				
Центр 1	. ГГц							Обзор	200. МГц				
ФПЧ 10	0. кГц			BΦ 10), кГц			Pa	зв. 1.75 с				
Время	Разв.												

Рисунок 48.

Время развертки, которое используется в анализаторе спектра для заданных полос обзора и пропускания, отображается в программной клавише **Время Разв.**, а также в правом нижнем углу экрана (см. рисунок 48). По умолчанию время развертки устанавливается автоматически в привязке к полосе обзора, ФПЧ и значению видео фильтра (режим программной клавиши **Время Разв.** находится в положении <u>Авто</u>). Однако пользователь может по своему усмотрению изменять время развертки вручную в некоторых пределах (в этом случае режим программной клавиши будет изменен на <u>Руч</u>).

ELVIRA (TM) BELA	Раз	вёртка								
Ур. 0.00) дБм			Аттен 2	20.00 дЕ	5	J	Tor.10.0	0дБ/дел.		
Маркер 1.00088	8888 FF4				1					Bpew 1	ия Разв. 75. мс
-0.21 дв	бм									Авто	Руч
										Раз	вёртка
										Однокр	Непрер
	Разве	ёртка								Гр	афик
	175.	мс									
										Запус	кразв>
the started	llitar a	1		. K. K. a. U	nulla com	r harrad	ر مان	II. and the set	Ilina i		
APPART	MANA	MANANA	WWWW	www	hin yan a	444 46	VANA	MARAN	in a start a s		
1	1 . 1					1 1			1 1.1 1		
Центр 1 ФПЧ <u>10</u>	I. ГГц Ю. кГц			BΦ 10). кГц			Обзор Разв	200. МГц з. 175. <u>мс</u>		
Время	Разв.										

Рисунок 49.

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 (см. рисунок 49) или как расширение колоколообразной АЧХ цифрового фильтра в более узкой полосе сканирования (см. рисунок 50).

Рисунок 50.



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 48-49 приведен пример увеличения скорости развертки в 10 раз без серьезного ущерба точности измерения (уровень отображаемого сигнала снижается на величину 0.1 дБ, что для многих задач допустимо).

На рисунке 50 видно, что в узкой полосе обзора динамические искажения при увеличенной скорости сканирования проявляются на уровнях ниже -50 дБ относительно максимума сигнала. Следовательно, при наблюдении сигналов малого уровня (ниже -100 дБм), которые превышают уровень шумов при заданном ФПЧ на 20-30 дБ, время развертки можно уменьшать в несколько раз относительно значения по умолчанию без существенного ущерба для точности измерений.

В анализаторах спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М предусмотрено несколько возможностей запуска развертки. Управление запуском развертки осуществляется в специальном программном меню (см. рисунок 51), куда осуществляется доступ при помощи программной клавиши Запуск разв.->. По умолчанию развертка осуществляется в анализаторе спектра непрерывно. Однако пользователь может при необходимости выполнять также одиночные развертки. Программная клавиша Развертка позволяет переключать тип развертки (однократная или непрерывная), при этом соответствующим образом будет изменяться режим программной клавиши. Режим однократной развертки удобен, когда нужно зафиксировать результат измерения для последующего документирования. В режиме однократной развертки каждая следующая развертка выполняется при нажатии на программную клавишу Внутр. Зап (см. рисунок 51).

Программная клавиша **Видео Зап.** позволяет запустить развертку при превышении заданного порогового уровня в пределах установленной полосы обзора (пороговый уровень задается клавишами пошаговых операций **«ВВЕРХ»** и **«ВНИЗ»** и отображается на экране как белая горизонтальная линия).

Рисунок 51.



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

Программная клавиша Задерж. Зап. 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 секунд.

2.4.7 Управление графиками

В анализаторах спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М предусмотрена возможность одновременной работы с несколькими измерительными графиками. Управление графиками осуществляется при помощи клавиш «1», «2», «3» и «4» (секция клавиш управления графиками). На экран можно одновременно вывести 4 графика. Каждому графику (#1, #2, #3 и #4) соответствует своя клавиша. График #1 – желтого цвета, график #2 - зеленого, график #3 – голубого, график #4 - красного. Набор программных клавиш для управления графиком показан на рисунке 52 (этот набор одинаков для всех графиков).



Когда пользователь работает с графиком, клавиша, отвечающая за его управление, будет подсвечиваться светодиодом, кроме того, номер активного графика будет выделен звездочками в программной клавише **График**. Рисунок 53.



Рисунок 52.

46

В конкретный момент времени активным может быть только один график. Остальные три графика являются сохраненными. По умолчанию активен график #1. Если затем нажата клавиша «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.

Программная клавиша Удалить удаляет с экрана выбранный график. Программная клавиша Запомнить замораживает активный график в его текущем состоянии (в режиме усреднения, удержания максимума или минимума). Программная клавиша Подключить вновь запускает развертку графика (который прежде был удален или заморожен). Программная клавиша Усред. дублирует аналогичную клавишу из меню ФПЧ и позволяет выполнить необходимое количество усреднений. Программная клавиша Удерж.Макс. служит для удержания максимального значения в каждой точке измерительного графика. Программная клавиша Удерж.Мин. позволяет, наоборот, в каждой точке графика отображать минимальное значение. Ha рисунке 53 проиллюстрирован эффект удержания максимальных, минимальных значений и усреднения исходного графика. График #3 (голубой) отображает спектр исходного сигнала с 10 усреднениями, график #2 (зеленый) – это режим удержания минимума, а график #1 (желтый) – режим удержания максимума.



Рисунок 54.

обыкновенно регистрации Режим удержания максимума используется для 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 РЧ устройств. На рисунке 54 показан пример измерения АЧХ полосового фильтра на частоту 200 МГц. 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 AM и ЧМ сигналов для различения случайного и импульсного шума.

Рисунок 55.



Наложение измеренных графиков обыкновенно используется для сравнительного анализа: например, для оценки зависимости какой-либо характеристики объекта измерения от частоты (или мощности) или же для сравнения двух разных объектов измерения на одной частоте. На рисунке 55 показано сравнение фазовых шумов двух синтезированных генераторов на частоте 1 ГГц методом наложения графиков.

2.4.8 Управление детекторами и демодуляторами

Доступ в программное меню выбора типа дектора и демодулятора осуществляется при помощи клавиши **ДЕТ./ДЕМ.** в секции функциональных клавиш на передней панели прибора. Программное меню выбора детектора и демодулятора показано на рисунке 56.



Программные клавиши **Демод.АМ**, **Демод.NFM** и **Демод. WFM** 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 фильтр ПЧ, соответствующий полосе демодулируемого сигнала, установить маркер на нужный сигнал и включить нужный демодулятор нажатием соответствующей программной клавиши. Анализатор спектра осуществит демодуляцию сигнала в точке маркера (см. рисунок 56). Громкость аудио сигнала можно контролировать при помощи регулятора громкости на передней панели.



Рисунок 57.

Рисунок 56.

Для повышения чувствительности анализатора спектра в режиме демодуляции, 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. При включенном демодуляторе гетеродин анализатора спектра прекращает развертку. Развертка возобновляется только при выключенном демодуляторе.

Программная клавиша **Детектор** используется для выбора типа детектора. Используемый в данный момент времени тип детектора отображается в программной клавише как текущее значение параметра. При нажатии на клавишу **Детектор** открывается дополнительное меню (см. рисунок 57), программные клавиши которого отвечают за разные типы детекторов.

Рисунок 58.



Термин "тип детектора" требует некоторого разъяснения. Когда анализатор спектра выполняет развертку в заданном частотном диапазоне, входной сигнал смешивается с синхронно перестраиваемым гетеродином и преобразуется на промежуточную частоту (ПЧ) 21.4 МГц. Эта 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 и умножения полученной величины на 3. Это означает, например, что количество отсчетов для полосы обзора 3 ГГц и ФПЧ 1 МГц составляет 9,000. Однако график, который выводится на экран, содержит только 451 точку. Таким образом, для приведенного примера одна точка на экране соответствует 20 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).

Рисунок 59.



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



Рисунок 60.

Детектор СКЗ (RMS) берет квадратный корень из суммы квадратов напряжений всех отсчетов в ячейке, переводит полученное значение в мощность, логарифмирует его и отображает полученный результат как точку измерительной трассы. На рисунке 58 для сравнения показано наложение трех графиков, где используются детектор минимальных (зеленый график), детектор максимальных (желтый график) и детектор среднеквадратичных (голубой график) значений.

Детектор выборки или детектор случайных значений для каждой точки измерительной трассы выбирает одно значение из ячейки отсчетов (например, отсчет с номером 1). Считается, что детектор выборки обеспечивает лучшее представление шума и стохастических процессов благодаря своей случайной природе. Однако детектор выборки часто может пропускать сигнал (см. рисунок 60), что является огромным недостатком для многих СВЧ приложений (например, при настройке генераторов гармоник в широкой полосе, где детектор выборки может искажать огибающую или вовсе пропускать гармоники, в действительности существующие).

Рисунок 61.



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 59. «Нормальный» детектор используется в анализаторах спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М 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.

Если в ячейку отсчетов попадает синусоидальный сигнал, возможны два сценария. Если полоса пропускания 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 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, 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 61 показан спектр на выходе генератора гармоник (работающего при входной частоте 100 МГц) в режиме «нормального» детектора. Сравните его со спектром сигнала на рисунке 60, где анализатор спектра отображал выход того же самого генератора гармоник при идентичных настройках, но в режиме детектора выборки.

2.4.9 Управление состоянием прибора

Для управления состоянием прибора следует нажать клавишу **НАСТР.** в секции системных клавиш. На экране появится программное меню, показанное на рисунке 62.





Программная клавиша **Авто** предназначена для перевода в автоматический режим всех параметров прибора, для которых возможно отключение автоматического управления и переключение в режим ручного управления.

Для сброса всех настроек прибора в состояние, соответствующее начальным заводским установкам, предусмотрена аппаратная клавиша **НАЧ.УСТ.** в секции функциональных клавиш (см. Рисунок 1 и Рисунок 3).

Программная клавиша **Надписи** предназначена для Включения / Выключения отображения на экране прибора параметров проведения измерений и параметров графика результата измерений: Значений Опорного Уровня, Аттенюатора, Масштаба и Вида масштаба по вертикали, Значений сетки по вертикали, Центральной Частоты, Обзора, Значение ФПЧ, ВФ, Времени Развертки (см. Рисунок 62).

Программная клавиша **Калибровать** предназначена для калибровки различных аппаратных узлов прибора. По умолчанию она деактивирована. Для получения доступа в калибровочное меню, а также инструкций по правильному проведению различных видов аппаратной калибровки свяжитесь с заводом-изготовителем.

2.4.10 Сохранение файлов и работа с системным меню

Клавиша «**СИСТ.**» в секции системных клавиш выводит на дисплей следующее программное меню.



Программная клавиша «Файлы» позволяет перейти в программное меню, обеспечивающее управление файлами, создаваемыми в процессе работы с прибором (см. рисунок 64).



Программная клавиша «Сохранить Параметры» запоминает параметры настройки прибора в конфигурационный файл с расширением *.prm.

Программная клавиша «Сохранить Картинку» сохраняет изображение спектрограммы в файл с расширением *.bmp.

Программная клавиша «Сохранить Данные» позволяет сохранить результат измерения в файл с расширением *.txt. При этом сохраняется весь выводимый на

Рисунок 64.

Рисунок 63.

экран в данный момент времени массив точек, для каждой из которых запоминаются два значения. Первое значение – это частота в МГц, второе – пиковое значение амплитуды в единицах, соответствующих размерности амплитудной шкалы.

Программная клавиша «Загрузить» позволяет загрузить файл с сохраненной ранее конфигурацией настроек прибора filename.prm.

Программная клавиша «Удалить» позволяет удалить любой файл.

Все операции сохранения в файл, загрузки и удаления файлов могут осуществляться как с помощью манипулятора «мышь» и клавиатуры, подключенных к разъемам USB прибора, так и с помощью программного имитатора «мыши», реализованного при помощи кнопок пошаговых операций («ВВЕРХ», «ВНИЗ», «ВЛЕВО», «ВПРАВО»), рукоятки плавной регулировки данных и кнопки «ВВОД» (см. рисунок 65). Для работы с файлами используются стандартные процедуры операционной системы Windows с виртуальной клавиатурой на экране прибора (см. рисунок 65).

Рисунок 65.

ELVIR	A(1	ΓM)	BE	LA	N-:	321	мv	32	.02	.53	.01	3 V	¥ei	ine	esd	ay	. D	ec	em	ber	24,	201	4 14	:54:	51			Файлы
Ур. 0.0	a 0(ιБм								A	те	н 2	0.0	00	дБ							ſ	lor 1	0.0	DдE	5/		
0.00			Γ								Τ																(Г	Сохранить Параметры
-10.00			⊢	Сох	ран	ить	» ИЗО	бра	же	ние і	з ф	айл														ľ	2 ×	
-20.00						s	ave i	n	ن چې al	ABD_ :est_	_4G	3 (D: _CK4) -Бел	ан 3	240_	<u>v</u> 24	0.0	3.08	1 - 21	▼ D14dec	+ 24	£	I 🖆 I	•			_	сохранить Картинку
-30.00		3 1	(Da	нная	My I Doc т КЛ	Rec Inter	ent ent arvi	Da	al al	:est_ :est_	041 045	_CK4 _CK4	-Бе) -Бе)	тан тан 3	400N 240N	1_√2 1_√2 -	24.0 24.0	2.07	7.04 7.04	.81.28 .84.24	- 201 - 201	4aug 4octi	11)9			- [0		анить Данные
-40.00		Файл esc	K	лавн	іату 1 1	pa F2	Пар F3	ame:	тры 4	Crij F5	Dabi	ca 6	F7	F8]	F) F	10	F1	1 F12	psc	slk	brk					
-50.00		•	1	2		3	4	5		6	7	8	9		0	•		- [b	ksp	ins	hπ	pup	nlk	1	×	•	агрузить
		tab	·	q	w	Ļ	e		t	y	Ļ	-	i	0	ļ	,	I	1	Ι	A.	del	en	i pdn	7	8	9		
-60.00	١IJ.	lo	sk 	4		s	d	f	1	g	h	i	ŀ		Ļ	2	Ļ		6	ent				4	5	6	+	Илалить
-70.00	ų,	s ctrl	hft		z	lt I	L	C	¥	Ь			m	Í	alt		•		shi	ft etrl	(Ť ↓	 →	1	2 0	3	ent	данить
-80.00		M 1			My N Pl	Vetw lace	vork	F	File n	ame:													•			Save		
-90.00								9	Save	as ty	pe:		Bit	map	files	: (*.b	mp)						•			Cance		
-100.00																												
Центр ФПЧ З	1.6 . M	6 EE 1Eu									ЗФ	10	0	кΓ								0 P	бзор 'азв	3.2	2 FFI D M			
0630	р																											

При нажатии на программную клавишу «Сист.Инфо» в меню «Система» (см. рисунок 63) будет выведена системная информация о приборе: дата выпуска, версия программного обеспечения, его аппаратная конфигурация (перечень установленных опций).

ЧАСТЬ 3. РАСШИРЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ.

В данном разделе будут рассматриваться различные специфические измерения, такие, как измерение коэффициента шума усилителей, измерение модуля коэффициента передачи и коэффициента отражения четырехполюсников, измерение спектральной плотности мощности фазового шума и т.д., которые расширяют базовые функциональные возможности анализаторов спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М. Эти измерения могут требовать установки в прибор дополнительных программноаппаратных опций, а от пользователя - дополнительных знаний относительно методики выполнения соответствующих измерительных операций.

3.1 Измерение коэффициента шума усилителей.

Анализаторы спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М с установленными опциями 005 (предварительный малошумящий усилитель 10 МГц – 3,2 ГГц) и 006 (программное обеспечение для измерения коэффициента шума методом Y-фактора) могут использоваться для измерения коэффициента шума и коэффициента передачи усилителей. Необходимым условием для измерений коэффициента шума методом Y-фактора является наличие внешнего источника шума, управляемого напряжением 28В, на частотный диапазон 10 МГц – 3,2 ГГц с калиброванным значением ИОШТ (избыточного отношения шумовых температур).

3.1.1 Измерение коэффициента шума. Теоретические сведения.

Рисунок 66.



Измерение коэффициента шума (КШ) и коэффициента передачи (КП) усилителей и устройств с переносом частоты в приборах СК4-БЕЛАН 32М/70М осуществляется по методу Y-фактора (Y-Factor). В основе метода Y-фактора лежит использование линейных свойств тепловых шумов (см. рисунок 66). Известно, что мощность теплового шума **Р**_{NOISE} резистора (согласованной нагрузки) является линейной функцией температуры **Т** и определяется как:

P_{NOISE} = k·T·B, где:

(3.1.1)

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

- **k** постоянная Больцмана, 1.38х10⁻²³, Дж/К;
- Т абсолютная температура, К;
- В 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_{IN}/N_{IN})/(S_{OUT}/N_{OUT}), где:

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_{dB} = 10-log₁₀ F, где:

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 (3.1.2) приобретает вид:

$$F = (k \cdot T \cdot B \cdot G + N_A) / k \cdot T \cdot B \cdot G$$
, где:

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

Т_{нот} – 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 =290К;

(3.1.4)

(3.1.2)

(3.1.3)

(3.1.5)

Т₀ – опорная шумовая температура, равная 290К.

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

$\mathbf{P}_{\mathsf{OUT},\mathsf{COLD}} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{T}_{\mathsf{COLD}} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{G} + \mathbf{N}_{\mathsf{A}}$

При «горячей» согласованной нагрузке с температурой **Т**нот на входе устройства мощность шума на его выходе можно записать как:

$\mathbf{P}_{\mathsf{OUT},\mathsf{HOT}} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{T}_{\mathsf{HOT}} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{G} + \mathbf{N}_{\mathsf{A}}$

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

Из (3.1.4) 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 (3.1.5), коэффициент шума **F** можно записать как:

F = ENR / (Y-1), где: (3.1.8)

Ү (Y-фактор) – это отношение мощностей **Р**оит, нот/**Р**оит, соьо в разах;

Для общего случая, когда **Т**_{СОLD} ≠ **Т**₀ можно записать:

$$F = [ENR - Y \cdot (T_{COLD}/T_0 - 1)]/[Y - 1]$$
(3.1.9)

В логарифмическом виде выражение 3.1.9 записывается следующим образом:

$NF_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \{ [10^{ENR, dB/10} - Y \cdot (T_{COLD}/T_0 - 1)] / [Y-1] \}$ (3.1.10)

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} = F₁ + ([F₂-1]/G₁), где

 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 виде, раз; раз;

G₁ – коэффициент передачи объекта измерения в линейном виде, раз.

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

(3.1.11)

(3.1.6)

(3.1.7)

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

Для случая **T**_{COLD} ≠ **T**₀ выражение 3.1.12 принимает вид:

$F_1 = [ENR - Y \cdot (T_{COLD}/T_0 - 1)]/[Y - 1] - ([F_2 - 1]/G_1)$ (3.1.13)

Поскольку составляющая [F₂-1]/G₁ 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 F₂. А при определении КШ объекта измерения выполняется коррекция «эффекта второго каскада».

Большинство автоматических измерителей коэффициента шума оперируют понятием эффективной шумовой температуры Т_Е. 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-T_E-B-G, то основное выражение для коэффициента шума (формула 3.1.4) можно записать как:

 $F = 1 + T_E/T_0$

Т_{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 Те выразить Ү-фактор, то будет получено следующее выражение:

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

Учитывая, что градуировка ГШ привязана именно к шумовой температуре, а Y, согласно формуле 3.1.16, может быть представлен как отношение шумовых температур, анализатор спектра при калибровке и измерении коэффициента шума по значения Ү-фактора рассчитывает именно эффективной методу шумовой температуры.

Из выражения 3.1.16 следует, что:

$T_{E} = (T_{HOT} - Y \cdot T_{COLD}) / (Y-1)$	(3.1.17)
--	----------

Для случая **Т**_{соLD} ≠ **Т**₀:

 $T_{E} = (ENR \cdot T_{0} + T_{COLD} - Y \cdot T_{COLD}) / (Y-1)$ (3.1.18)

(3.1.14)

(3.1.12)

(3.1.15)

(3.1.16)

При калибровке производятся прямые измерения мощности **P**_{CAL,HOT} и **P**_{CAL,COLD} в отсутствии тестируемого устройства, и по формуле (3.1.19) рассчитывается параметр **T**_{E2}.

 $T_{E2} = (ENR \cdot T_0 + T_{COLD} - Y_{CAL} \cdot T_{COLD}) / (Y_{CAL} - 1), где:$ (3.1.19)

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 **Р**оит,нот и **Р**оит,соld, и по формуле (3.1.20) рассчитывается параметр **Т**е,system.

$$T_{E,SYSTEM} = (ENR \cdot T_0 + T_{COLD} - Y_{SYSTEM} \cdot T_{COLD}) / (Y_{SYSTEM} - 1), где \qquad (3.1.20)$$

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 (3.1.21) определяется коэффициент передачи **G**₁ тестируемого устройства:

$$\mathbf{G}_{1} = (\mathbf{P}_{\text{OUT,HOT}} - \mathbf{P}_{\text{OUT,COLD}}) / (\mathbf{P}_{\text{CAL,HOT}} - \mathbf{P}_{\text{CAL,COLD}})$$
(3.1.21)

После этого анализатор определяет эффективную шумовую температуру объекта измерения **T**_{E1} по формуле (3.1.22):

$$T_{E1} = T_{E,SYSTEM} - T_{E2}/G_1,$$

И наконец, по формулам (3.1.14) и (3.1.3) анализатор переводит **T**_{E1} в **F**₁ и **NF**_{1,dB}:

(3.1.22)

3.1.2 Измерение коэффициента шума усилителей. Практические измерения.

Общая схема проведения калибровки и измерения коэффициента шума и коэффициента передачи усилителя при помощи СК4-БЕЛАН 32М/70М показана на рисунке 67.

Рисунок 67.

а) Калибровка



б) Измерение



Как говорилось в разделе 3.1.1 на этапе калибровки прибор определяет **F**₂ – собственный КШ анализатора. Во время измерения определяются **F**_{SYSTEM}. и **G**₁, при помощи которых затем рассчитывается **F**₁ – коэффициент шума объекта измерения.

Перед калибровкой необходимо выполнить ряд общих настроек прибора. Следует выбрать частотный диапазон измерения коэффициента шума. При этом нужно иметь в виду, что начальная граница частотного диапазона не может быть ниже 10 МГц, а конечная граница не может быть выше 3,2 ГГц. Далее необходимо установить значение опорного уровня <-40 дБм («АМПЛ.» à -40 à «дБм»), включить предварительный усилитель («АМПЛ.» à «Еще» à «Усилитель» à «Вкл.»).

Опорный уровень определяет динамику измерения коэффициента шума и усиления. Для большинства тестируемых усилителей адекватным значением опорного уровня, выставляемого в СК4-БЕЛАН 32М/70М, будут величины от -50дБм до -70дБм. Типичный ГШ с ИОШТ ≈15 дБ даст СПМ (спектральную плотность мощности) шума на входе анализатора в «горячем» состоянии на уровне ≈-159 дБм/Гц или ≈-94,23 дБм в полосе 3 МГц (в которой реализуется оптимальная скорость измерения). Следовательно, при опорном уровне -50 дБм можно измерять усилители с динамикой (значение коэффициента шума плюс значение коэффициента усиления) до ≈44,23 дБ, а при опорном уровне -70 дБм до ≈-24,23 дБ. Более высокое значение опорного уровня (-40 дБм) имеет смысл выставлять тогда, когда ожидаемые величины коэффициента шума и усиления объекта измерения должны быть в диапазоне от 44 дБ до 54 дБ, соответственно. Ожидаемая СПМ на выходе усилителя с «горячим» ГШ на входе не должна превышать опорный уровень, выставленный на анализаторе. В противном случае может возникнуть перегрузка входных каскадов прибора и нелинейность в измерениях. При значениях опорного уровня выше -40дБм (0.1мкВт) прибор не позволит полностью отключить аттенюатор (а принудительно выставит значение в 10дБ), что увеличит собственный КШ прибора на значение ослабления аттенюатора. В этом случае прибор не сможет выполнить адекватную коррекцию собственного КШ, поскольку на этапе калибровки он не сможет достоверно продетектировать разницу между включенным и выключенным генератором шума (с номинальным значением ИОШТ 15дБ).

Для перехода в меню программного обеспечения для измерения коэффициента шума необходимо нажать клавишу «**ИЗМЕР.**» в секции функциональных клавиш, программную клавишу «**МОЩНОСТЬ**» и затем «**Изм.КШ**».

Рисунок 68.



Программная клавиша **«Включить»** активирует режим измерения КШ, после ее нажатия экран по умолчанию будет разбит на два окна А и В, в верхнем окне будет отображаться коэффициент шума в дБ (опорный уровень 9 дБ, масштаб 1 дБ на деление), в нижнем – коэффициент усиления в дБ (опорный уровень 30 дБ, масштаб 5 дБ на деление). Программная клавиша **«Измерить»** включает непрерывное измерение КШ и коэффициента усиления, при этом результаты обновляются на экране с каждой разверткой. Если эта клавиша выключена, то отображается только последнее измерение. Если выполнить калибровку, не активировав предварительно клавишу **«Измерить»**, то на экране после калибровки будут отображаться замороженные калибровочные трассы (коэффициент шума и коэффициент усиления, приведенные к ОдБ). Программные клавиши **«Результат А»** и **«Результат В»** служат для работы с данными измерений КШ и коэффициента усиления, подробно об использовании этих клавиш будет рассказано после описания процедуры калибровки.

Клавиша «Окна» позволяет сконфигурировать режим отображения коэффициента передачи и коэффициента шума: А+В (данные отображаются в двух отдельных окнах),

А,В (выполняется наложение окон), **А** (выводится только окно А), **В** (выводится только окно В). Клавиша «Калибр.->» отвечает за коррекцию собственного КШ анализатора спектра. До запуска процедуры калибровки следует произвести ряд важных дополнительных настроек прибора.

Как следует из формулы (3.1.8), для прецизионных измерений коэффициента шума необходимо точно измерить отношение двух малых мощностей (именно для этой цели необходим опциональный предварительный усилитель), а также точно определить значение ИОШТ. ИОШТ нормируется производителем ГШ в дБ в определенных точках диапазона рабочих частот ГШ, между точками данные интерполируются. Перед проведением калибровки необходимо ввести значения ИОШТ для используемого генератора шума в память СК4-БЕЛАН 32М/70М. Для этого следует нажать программную клавишу «Еще->», которая откроет меню, приведенное на рисунке 69.



Рисунок 69.

Рассмотрим подробно функциональные клавиши данного меню. Клавиша «ГШ1 (ENR)» позволяет выбрать один из 16 генераторов шума, таблицы ИОШТ которых могут одновременно храниться в памяти прибора. В данной клавише отображается номер источника шума, используемого в данный момент (например, ГШ 1). Источники шума меняются по кругу. Для смены источника шума следует еще раз нажать на клавишу «ГШ 1 (ENR)». Клавиша «Таблица ИКШ (ENR)» позволяет ввести в память прибора калибровочные значения ИОШТ для данного источника шума. Как правило, эти значения указаны на корпусе источника шума.

При нажатии на клавишу **«Таблица ИКШ (ENR)»** пользователь попадает в меню, приведенное на рисунке 70. Клавиша **«Номер»** указывает на номер ГШ, таблицу ИОШТ которого мы собрались редактировать. Источники меняются по кругу при повторном нажатии на данную кнопку. Клавиша **«Частота»** позволяет ввести значение частотной точки, в которой нормируется ИОШТ (например, 10МГц). Клавиша **«ИКШ (ENR)»** служит для ввода калиброванного значения ИОШТ в дБ в заданной частотной точке (например, 15.50 дБ). Между точками осуществляется линейная интерполяция. Текущая строка выделяется красным цветом. Клавиша **«Запомнить»** сохраняет таблицу ИОШТ для генератора шума с заданным номером. Клавиша **«Удалить»** стирает текущую строку из таблицы ИОШТ. Клавиша **«Показать Выкл Вкл»** служит для отключения (включения) индикации таблицы ИОШТ внизу экрана. Перемещение по строкам таблицы осуществляется при помощи рукоятки плавной регулировки данных. Клавиша «**-Назад**» позволяет вернуться в меню «**Изм. КШ еще**». Перед проведением калибровки всегда нужно сначала проверить, соответствует ли используемая таблица значений ИОШТ градуировке используемого ГШ, и, при необходимости, выполнить редактирование таблицы.

Рисунок 70.



При нажатии на клавишу «Потери Вх.->» в меню попадает в подменю, показанное на рисунке 71:



«Изм. КШ еще» пользователь

Рисунок 71.

В данном меню можно учесть потери в кабельных сборках и согласующих цепях между источником шума и входом объекта измерения. Узнать фактическое значение ослабления в интересующих частотных точках можно путем измерения S21 данной кабельной сборки на анализаторе цепей или на СК4-БЕЛАН 32М/70М при помощи опционального трекинг-генератора (только до 3,2 ГГц). Программная клавиша «Потери Выкл Вкл» позволяет включить или выключить компенсацию потерь. По умолчанию компенсация потерь всегда выключена. При активации таблицы потерь на экране

появляется соответствующая надпись желтого цвета. Клавиша «Номер» служит для выбора таблицы потерь конкретной кабельной сборки (согласующей цепи). Буквами **Bx.1** обозначается номер кабельной сборки (согласующей цепи), таблица потерь которой используется в данный момент. Таблицы потерь меняются по кругу. Редактируются таблицы потерь точно так же, как и таблицы ИОШТ. Для ввода частотной точки, в которой нормируется значение ослабления, нажмите клавишу «Частота», затем введите требуемое значение с клавиатуры. Для ввода численного значения ослабления в данной частотной точке нужно нажать клавишу «Величина» и ввести требуемое значение в дБ. Между точками осуществляется линейная интерполяция. Клавиша «Запомнить» сохраняет текущую таблицу потерь. Клавиша «Удалить» стирает текущую строку в таблице. Перемещение между строками таблицы осуществляется при помощи рукоятки плавной регулировки данных. Клавиша «-Назад» позволяет вернуться в меню «Изм. КШ еще».

Рисунок 72.



При нажатии на клавишу «Потери Вых.->» в меню «Изм. КШ еще» пользователь попадает в подменю, показанное на рисунке 72. Здесь учитываются потери в кабельных сборках и согласующих цепях между выходом объекта измерения и входом анализатора спектра. Узнать точное значение ослабления в интересующих точках, можно путем измерения S21 данной кабельной сборки (согласующей цепи) на анализаторе цепей или на СК4-БЕЛАН 32М/70М при помощи трекинг-генератора (только до 3,2 ГГц). Программная клавиша «Потери Выкл Вкл» позволяет включить или выключить компенсацию этого вида потерь. По умолчанию компенсация потерь выхода всегда выключена. При активации таблицы потерь на экране появляется соответствующая надпись желтого цвета. Клавиша «Номер» служит для выбора таблицы потерь конкретной кабельной сборки (согласующей цепи). Буквами Вых.1 обозначается номер кабельной сборки (согласующей цепи), таблица потерь которой используется в данный момент. Таблицы потерь меняются по кругу. Редактируются таблицы потерь точно так же, как и таблицы ИОШТ, и таблицы потерь входа. Для ввода частотной точки, в которой нормируется значение ослабления, нажмите клавишу Частота, затем введите требуемое значение с клавиатуры. Для ввода численного значения ослабления в данной частотной точке нужно нажать клавишу «Величина» и ввести требуемое значение в дБ. Между точками осуществляется линейная интерполяция. Клавиша «Запомнить» сохраняет текущую таблицу потерь. Клавиша «Удалить» стирает текущую строку в таблице. Перемещение между строками таблицы

осуществляется при помощи рукоятки плавной регулировки данных. Клавиша «<- Назад» позволяет вернуться в меню «Изм. КШ еще».

Клавиша «**Температура**» в меню «**Изм. КШ еще**» позволяет пользователю ввести физическую температуру T_{COLD} «холодного» источника в тех случаях, когда она не равна T_0 (290К). После нажатия на клавишу **Температура** пользователь может ввести с клавиатуры требуемое значение температуры в Кельвинах или градусах Цельсия. Используемое значение T_{COLD} будет отображаться в программной клавише «**Температура**» в Кельвинах и в градусах Цельсия.

Клавиша «**Сохранить**» позволяет сохранять измеренные трассы коэффициента шума и коэффициента усиления на внешний носитель в виде текстового файла, состоящего из трех колонок цифр: частота, МГц; КШ, дБ; КП, дБ.

Клавиша <-Назад возвращает пользователя из меню Изм. КШ еще в основное меню Изм. КШ.



Рисунок 73.

Таким образом, перед проведением калибровки нужно выбрать (а при необходимости отредактировать) соответствующую таблицу ИОШТ, составить (при необходимости) таблицы потерь кабельных сборок (согласующих цепей) на входе и выходе объекта измерения, а также указать правильное значение температуры «холодного» источника шума. После этого следует перейти к процедуре калибровки нажатием на программную клавишу «Калибр.->». После нажатия на данную клавишу будет открыто меню калибровки, показанное на рисунке 73.

В этом меню пользователю предлагается осуществить выбор основных параметров анализатора, которые будет использоваться при калибровке и последующем измерении КШ. Как видно из рисунка 73, пользователю предлагается установить начальную и конечную частоты измерения, выбрать фильтр полосы пропускания, значение видеофильтра, количество измерительных точек, а также количество усреднений в каждой точке. При выборе этих параметров следует учитывать несколько важных рекомендаций.

Первая рекомендация: проводить измерения коэффициента шума широкополосных усилителей необходимо с максимальной доступной полосой пропускания анализатора,

в случае СК4-БЕЛАН 32М/70М это – фильтр ПЧ ЗМГц. Фундаментальное отличие измерений коэффициента шума от измерений на синусоидальных сигналах заключается в том, что точность измерения соотношений шумовых сигналов, лежащих в основе метода Ү-фактора, не увеличивается при сужении полосы пропускания (как ошибочно полагают). Когда выполняется измерение многие мошности синусоидального сигнала, при сужении фильтра ПЧ происходит понижение собственных шумов анализатора, и имеет место улучшение соотношения сигнал-шум (поскольку уровень сигнала несущей не меняется). Когда же измеряется коэффициент шума, то сужение фильтра ПЧ понижает уровень отображаемых шумов анализатора, но одновременно пропорционально уменьшает и уровень шума на выходе объекта измерения, который является полезной информацией (комбинацию, состоящую из СПМ шума ГШ. усиления объекта измерения и шума. генерируемого объектом измерения). Как следствие, при более узком фильтре ПЧ детектор вынужден работать с шумовым сигналом меньшего уровня и для достижения того же уровня амплитудного джиттера (амплитудной стабильности трассы), что у более широкого фильтра, ему требуется пропорционально большее количество усреднений. Например, если изначально используется ФПЧ 1МГц и 10 усреднений, то для получения итогового графика КШ с таким же уровнем дисперсии амплитудных значений при ФПЧ 100кГц нужно будет проводить уже 100 усреднений в каждой точке. Соответственно, время измерения пропорционально замедлится, а выигрыша в точности не произойдет. Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что более широкие полосы пропускания при равной точности всегда обеспечивают более высокую скорость измерений КШ. Использовать фильтры 100кГц или более узкие необходимо только тогда, когда объект измерения является устройством узкополосным. Используемый ФПЧ при измерении КШ всегда должен быть уже полосы частот тестируемого объекта в 10 и более раз, при этом должен использоваться максимальный ΦПЧ, удовлетворяющий этому требованию.

Вторая рекомендация: поскольку шумы представляют собой хаотический процесс, для достижения максимальной точности и стабильности результатов исследования (уменьшения дисперсии измеренных амплитудных значений) измерения необходимо проводить с максимальным количеством усреднений. Амплитудный джиттер измерения будет уменьшаться пропорционально квадратному корню из количества усреднений. СК4-БЕЛАН 32М/70М позволяет выполнять до 10000 усреднений на измерительную 1000 усреднений, точку. Использование например. позволит **УМЕНЬШИТЬ** первоначальный джиттер на 96,84%. При выборе видеофильтра следует иметь в виду, что сужение фильтра в 10 раз эквивалентно увеличению количества усреднений в 10 раз. Сужение фильтра видео, как и увеличение усреднений в точке, замедляет скорость измерений, но повышает точность. Таким образом, при измерении КШ фильтр видео следует сузить, а количество усреднений, наоборот, повысить до тех значений, при которых прибор будет работать с приемлемой для пользователя скоростью и точностью.

Третья рекомендация: не всегда имеет смысл проводить измерения в максимальном количестве точек (СК4-БЕЛАН 32М/70М может проводить измерения КШ максимально 401 точке). Для измерительной трассы коэффициента шума в vсилителя (предположительно, имеющего монотонную характеристику) адекватным количеством точек может быть 51 или даже меньшее (минимальное приемлемое значение определяет пользователь). Увеличение количества измерительных точек при фиксированных параметрах видеофильтра и усреднения ведет к возрастанию времени измерения. Поэтому часто может оказаться более полезным уменьшить количество точек, но зато проводить измерения с максимальным усреднением и минимально возможным видеофильтром. Между измерительными точками по умолчанию будет осуществляться линейная интерполяция, кроме того, пользователь может использовать функцию сглаживания в подменю масштабирования данных измерений.

Исходя из опыта практических измерений КШ, для всей полосы рабочих частот от 10 МГц до 3,2 ГГц оптимальными параметрами являются: 51 точка, ФПЧ ЗМГц, видеофильтр 1 кГц, 1000 усреднений на точку. При данных параметрах обеспечиваются высокая точность измерения при разумной скорости. Однако первоначальную отладку КШ объекта измерения удобнее проводить при фильтре видео 10 кГц, поскольку в этом случае скорость оказывается значительно выше. Использовать видеофильтр шире 10 кГц не рекомендуется. Параметры измерения следует ввести перед началом процедуры калибровки. Процедура ввода данных идентична вводу данных в обычных режимах работы с СК4-БЕЛАН 32М/70М. После ввода данных следует подключить выход ГШ ко входу анализатора спектра и нажать на программную клавишу «Калибровать». Прибор активирует процесс калибровки, на экране будет видно, как графики КШ и коэффициента усиления последовательно приводятся к нулю в каждой измерительной точке. После прохода всего диапазона частот прибор автоматически переключится в меню «Изм. КШ», а в клавише «Калибр.->» появится надпись «откалибровано».

ELVIR/	(TM) BELAN	I - 32 M	V32.02	- 07.04.	52.06	_	Friday, No	vember :	28, 2014	12:00:58	Изм.КШ->
		Оп.Ур	овень	Кшума	9.00 дЕ	5 [1.00	дБ/дел	ение]			
9.00 8.00	_Маркер										Включить
	1.605114	.e.									
6.00	кш-0.00 д	0									Выкл <u>Вікіп</u>
5.00											Измерить
4.00											
3.00											Выкл <u>вкл</u>
2.00	Τ	oye	(1/31	lene	ния						Результат А
1.00		4		nepe		.1					КШ(ДБ)
0.00 -1.00	<u> </u>	t					<u> </u>				
		Оп.Ур	овень	Кусил.	30.00 д	Б [5.00	,)дБ/дег	ение]			Результат В
30.00											К усил.(дь)
20.00											
15.00											Окна
10.00											А,В
5.00											
0.00					`	,1					Калибр>
-5.00	Mankon										откалиоровано
-10.00	-1.605 ГГц ⁻										
-15.00	-Ку=0.00 ді	5									ещё ->
-20.00	V				54 T					200.0.1/	
1000	усреднени 10. МГц			¢	от Точ ПЧ 3. М	ек ЛГц			=	290.0 К 3.2 ГГц	
К-во	точек										

Рисунок 74.

Как упоминалось выше, если в меню **«Изм. КШ»** режим параметра клавиши **«Измерить»** находится в положении **Выкл.**, график измерения будет заморожен в положении нулевой калибровочной прямой. Для того чтобы графики обновлялись с каждой разверткой, необходимо изменить режим параметра на **Вкл.** И наоборот: если в процессе измерения нужно заморозить графики, следует изменить режим параметра на **Выкл.** По отклонению измеренных графиков от идеальных калибровочных значений, когда объект измерения еще не включен в измерительный тракт, можно косвенно судить о точности калибровки и стабильности всей измерительной системы. При этом незначительные вариации графика коэффициента шума относительно нулевого значения непосредственно после калибровки (см. рисунок 74) 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 даже при малом вертикальном масштабе. Для понимания природы отклонения графика КШ от идеального нулевого значения сразу после калибровки необходимо вернуться к формуле Фрииса (3.1.11). Для простоты вычислений рассмотрим измеритель с собственным коэффициентом шума 10 дБ (10 раз). Тогда по формуле Фрииса, непосредственно после калибровки, коэффициент шума системы равен:

F₁ = F₁₂ - (F₂-1)/G₁ = 10 - (10-1)/1 = 1 раз NF_{1,dB} = 10·log₁₀F₁ = 0 дБ

А теперь введем в измерение коэффициента передачи **G**₁ ошибку в 0.02 дБ, которая, на первый взгляд, является совершенно незначительной. Тогда:

G₁ = 10^(0.02/10) = 1.004616 раз F₁ = 10 – (10-1)/1.004616 = 1.041353 раз NF_{1,dB} = 10·log₁₀(1.041353) = 0.176 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 дБ NF_{1,dB} = 10^(1/10) = F₁ = 1.2589 раз 17 дБ G_{1,dB} = 10^(17/10) = G₁ = 50.1187 раз F₁₂ = 1.2589 + (10-1)/50.1187 = 1.438474 раз

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

F₁ = 1.438474 − (10-1)/50.1187·1.004616 = 1.2581 раз NF_{1,dB} = 10·log₁₀(1.2581) = 0.9972 дБ

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 3.1.21, измерение КП в методе У-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, а также качество используемых коаксиальных соединителей. Индикатором высокой стабильности и низкого собственного КШ измерительной системы являются вариации измерительной трассы в пределах ±0.5 дБ. В противном случае (при большем отклонении) может оказаться целесообразным произвести повторную калибровку с бОльшим количеством усреднений и более узким фильтром видео.

Если стабильность измерительных трасс удовлетворительная, можно включить в измерительный тракт объект измерения. ГШ подключается ко входу тестируемого
устройства, а выход тестируемого устройства подключается ко входу анализатора спектра (как показано на общей схеме измерения КШ – см. рисунок 67). После этого прибор автоматически отобразит панорамные графики КШ и коэффициента усиления объекта измерения с учетом коррекции второго каскада (собственного КШ анализатора). Типичный вид графиков с включенным в тракт усилителем (Avago MGA-62563) приведен на рисунке 75.

Рисунок 75.



В верхнем окне будет выводиться график коэффициента шума, а в нижнем график коэффициента усиления. Как уже упоминалось выше, можно изменять режим вывода графиков нажатием на программную клавишу «Окна». При повторном нажатии на данную кнопку графики будут выводиться в режиме наложения, как показано на рисунке 76.



Рисунок 76.

При втором нажатии на клавишу «**Окна**» будет выведен только график A (в данном случае – коэффициент шума в дБ), как показано на рисунке 77. При третьем нажатии на кнопку «**Окна**» будет выведен только график B (в данном случае – коэффициент усиления в дБ), как показано на рисунке 78.

В программной клавише «Окна» всегда отображается как текущее значение параметра выбранный режим вывода данных: **А,В** – отдельные окна, **А+В** – наложение, **А** – только верхний график, **В** – только нижний график.



Рисунок 77.





Для масштабирования графиков и выбора требуемого формата представления данных следует использовать клавиши «**Результат А**» и «**Результат В**» в меню «**Изм КШ**». Обратите внимание, что в данных кнопках как текущее значение параметра всегда указан используемый формат преставления данных для каждого графика (например, на рисунке 75 это **КШ (дБ)** и **К усил. (дБ)**). При нажатии на клавишу «**Результат А**» пользователь попадает в меню, показанное на рисунке 79. Здесь можно выбрать формат преставления А. По умолчанию отображается коэффициент шума в логарифмическом виде (соответствующая кнопка – **КШ (дБ)**).

Рисунок 79.



При нажатии на клавишу «**КШ**», будет выводиться коэффициент шума в разах, при нажатии на клавишу «**Y-фактор**» - Y-фактор, при нажатии на клавишу «**T эффект.**» - эффективная шумовая температура, клавиши «**P гор.**» и «**P холод.**» позволяют вывести «горячую» и «холодную» мощность, соответственно. На рисунке 80 показана эффективная шумовая температура усилителя Avago MGA-62563, используемого в нашем примере в качестве объекта измерения.

Рисунок 80.



При нажатии на клавишу «Масштаб» пользователь попадает в подменю, изображенное на рисунке 81. В этом меню можно выбрать масштаб графика (кол-во дБ, относительных единиц, Кельвинов на клетку), опорный уровень, который будет соответствовать верхней линии масштабной сетки, а также активировать функцию сглаживания. Для установки произвольной величины масштаба необходимо нажать клавишу «Ед./деление», затем нужно ввести требуемое значение с клавиатуры и

подтвердить размерность данных (дБ, К в соответствующем выпадающем меню или разы при помощи кнопки **Ввод**). Аналогичная процедура при выборе опорного уровня: нажать клавишу **«Оп.уровень»**, затем ввести численное значение с клавиатуры, подтвердить размерность (дБ, К или Ввод для разов). На рисунке 81 показан результат выбора масштаба 0.5 дБ на деление для графика А (формат представления данных - коэффициент шума в логарифмическом виде). Если нажать клавишу **«Сглаживание»**, то будет выведено программное подменю, показанное на рисунке 82.

Рисунок 81.



Нажимая на соответствующие программные клавиши, мы можем выбрать величину сглаживания (2%, 4%, 8% или 16%) или же отключить сглаживание.

Рисунок 82.



Вернемся теперь в меню «Изм. КШ» и рассмотрим функциональность клавиши «Результат В». При нажатии на клавишу «Результат В» пользователь попадает в меню для выбора формата отображения и масштабирования коэффициента передачи, приведенное на рисунке 83. По умолчанию выводится коэффициент усиления в логарифмическом виде, ему соответствует программная клавиша «К Ус. (дБ)». Для

вывода линейного коэффициента усиления необходимо нажать на клавишу «К Ус.». Программная клавиша «Мастшаб» позволяет выполнить масштабирование и сглаживание для графика В. Сами процедуры масштабирования и активации сглаживания для графиков А и В полностью идентичны.

Рисунок 83.



СК4-БЕЛАН 32М/70М позволяет использовать маркерные функции при измерениях коэффициента шума и коэффициента усиления. При нажатии на кнопку **МАРКЕР** будет выведен маркер в центре заданной полосы обзора. Показания маркера для коэффициента шума будут выводиться в левом верхнем углу, а для коэффициента усиления – в левом нижнем углу (это расположение для вывода показаний маркеров сохраняется, в том числе, и в режиме наложения графиков А+В). Пользователь может расставить на графиках до восьми маркеров (частота маркеров на графике коэффициента усиления будет автоматически привязана к частоте одноименных маркеров на графике коэффициента шума), считываться будут данные в точке активного маркера. Выбор активного маркера осуществляется при помощи клавиши «Выбор» в меню «МАРКЕР», как показано на рисунке 84.

Рисунок 84.



Пользователь также может вывести на экран показания всех установленных маркеров в виде таблицы, нажав на клавишу «Таблица <u>Вкл</u>.». Однако в этом случае режим отображения данных автоматически изменится на режим одного окна (А или В). Таким образом, в конкретный момент времени таблица маркеров может выводиться либо для коэффициента шума, либо для коэффициента усиления, как показано на рисунках 85 и 86.

Рисунок 85.



При самостоятельном изменении режима вывода данных на два окна (A,B) или режим наложения (A+B), таблица маркеров будет автоматически деактивирована.



Рассмотрев основные возможности программного обеспечения СК4-БЕЛАН 32М/70М по измерению коэффициента шума методом Y-фактора, приведем **ряд практических** советов для достижения максимальной точности измерения.

1) Необходимо правильно выбирать источник шума. На сегодняшний день на рынке представлены источники шума со значением ИКШ 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, иными словами, собственный коэффициент шума анализатора спектра. Для точного определения ΚШ анализатора на калибровки прибор собственного этапе должен четко детектировать «горячее» состояние источника шума (уверенно отличать его от «холодного»). С увеличением частоты, из-за неизбежного роста собственного КШ анализатора спектра для 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 действительным значениям, нормированным производителем для данного генератора шума.

2) B случае. во время калибровки ΓШ идеальном 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 хороший КСВН в заданной полосе частот). Если пользователь имеет возможность точно охарактеризовать потери в кабельных сборках, их необходимо учесть при измерениях, воспользовавшись соответствующими функциями СК4-БЕЛАН 32М/70М (описание функций Потери входа и Потери выхода приведено выше). Те элементы тракта, которые используются между выходом ГШ и входом анализатора во время калибровки, при измерении должны стоять после объекта измерения. Бывают ситуации, когда необходимо намеренно ввести ослабление в измерительный тракт между ГШ и объектом измерения (например, ввести дополнительные аттенюаторы или вентили для улучшения согласования). В этом случае дополнительные элементы тракта (аттенюаторы, вентили), не включаются в тракт на этапе калибровки. Они характеризуются отдельно (при помощи векторного анализатора цепей или трекинг-генератора в СК4-БЕЛАН 32М/70М) 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 количество усреднений в точке. Но помните, что используемый фильтр полосы пропускания 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 87), то их можно не учитывать в процессе измерения (например, установив, меньшее количество точек, где паразитная частота попадет между измерительными точками).

Рисунок 87.



5) Принимайте в расчет температурные изменения в помещении и корректируйте фактическое значение **T**_{COLD}, используемое анализатором спектра в расчетах.

6) Старайтесь по возможности минимизировать все известные источники погрешностей, а также максимально точно учесть остаточную неопределенность измерения. Для учета остаточной неопределенности СК4-БЕЛАН 32М/70М имеет встроенный калькулятор точности, который описан ниже.





Для активации калькулятора точности необходимо нажать клавишу «**Еще->**» в меню «**Изм. КШ->**», а затем клавишу «**Калькулятор ТОЧНОСТИ**». После этого на экран прибора будет выведено меню, показанное на рисунке 88.

Рассмотрим функциональные клавиши данного меню. Клавиша «Частота» служит для частотной точки, для которой будет рассчитываться остаточная задания неопределенность измерения КШ (в данном случае это – 1 ГГц). Клавиша «Согл.ВХ» позволяет задать параметры согласования входа объекта измерения. Вы можете вводить параметры согласования в любом удобном для Вас формате: в виде коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН), обратных потерь в децибелах или линейного коэффициента отражения Г. В данной программной кнопке как текущее значение параметра будет выводиться заданное значение согласования входа объекта измерения и указываться его формат (КСВ для КСВН, дБ для обратных потерь, символ «Г» для коэффициента отражения в линейном виде). Для ввода данных наберите соответствующее значение с клавиатуры и нажмите «ВВОД». Прибор автоматически, по первому символу, определит формат вводимых данных. Цифра «1» будет означать. что вводится КСВН, знак «-», что вводятся обратные потери, цифра «0» с точкой, что вводится линейный коэффициент отражения. Клавиша «Согл.ВЫХ» служит для определения согласования выхода объекта измерения. Ввод данных осуществляется по аналогии с клавишей «Согл.ВХ». Предполагается, что пользователь знает или имеет возможность измерить эффективные параметры согласования объекта измерения. Клавиша «КШ (дБ)» служит для ввода измеренного значения коэффициента шума, а клавиша «К Ус. (дБ)» – для ввода измеренного значения коэффициента усиления. В клавише «Точн. +/-(дБ)» выводится рассчитанное значение остаточной неопределенности. Остаточная неопределенность рассчитывается по следующей формуле:

$$\delta NF_{1} = \sqrt{\left(\frac{F_{12}}{F_{1}}\delta NF_{12}\right)^{2} + \left(\frac{F_{2}}{F_{1}G_{1}}\delta NF_{2}\right)^{2} + \left(\frac{F_{2}-1}{F_{1}G_{1}}\delta G_{1,dB}\right)^{2} + S\left(\left(\frac{F_{12}}{F_{1}} - \frac{F_{2}}{F_{1}G_{1}}\right)\delta ENR_{dB}\right)^{2}}$$

где:

F₁ – коэффициент шума объекта измерения, раз;

F₂ – коэффициент шума измерителя, раз;

F₁₂ - коэффициент шума измерительной системы (объект + измеритель), раз;

G₁ – коэффициент усиления объекта измерения, раз;

ENR_{dB} – избыточное отношение шумовых температур источника шума, дБ;

Параметры под знаком **б** представляют собой соответствующие неопределенности в дБ, при их расчете используются эффективные данные рассогласования.

S – это поправочный коэффициент, в тех случаях, когда объект представляет собой усилитель, он равен 1;

Из приведенной формулы видно, что для определения остаточной погрешности измерения необходимо принимать во внимание определенные параметры измерительного прибора и используемого генератора шума. Пользователь может проверить, какие параметры используются калькулятором, если нажмет на клавишу «Данные->» в меню «Калькулятор ТОЧНОСТИ». При этом на экране прибора появится подменю, приведенное на рисунке 89.

ELVIRA (TN	1) BELAN - 32 M	1 V32.02	- 07.04.	52.06	Thu	·sday, De	cember (04, 2014 1	L4:08:09	исх.данные.
	Оп.Ур	овень	Кшума	9.00 дЕ	6 [1.00	дБ/дел	ение]			
9.00 8.00 Ma	ркер								(
7.00 I.U	ЈО2444444 ГГЦ Ј=0.99 дБ									0.1
6.00 5.00										KOBULEUI
4.00										1.1
3.00										
2.00			1		~					dПогр.Усил.
0.00	~	~~~	~~~~~	~~~~~						0.15
-1.00	0-14-		4	20.00 -1		- 5 /				dElorp KIII
30.00	ОП.Ур	овень	кусил.	30.00 ді	5 [5.00	ды/дел	ениеј			5.e-002
20.00			1							
15.00		4				~_~			(Собств.КШ 11
10.00										
5.00										Собств.КСВН
-5.00										1.89
-10.00 -1.0	аркер 102444444 ГГц ⁻									
-15.00 Ky	=19.93 дБ									<-Назад Ү-фактор
100 Усре	еднений			51 Точе	эк			T =	296.2 K	
10.1	МГц		Φ	ПЧ 3. Ν	1Гц				3.2 ГГц	

Здесь указаны погрешности, относящиеся к используемому генератору шума, а также составляющие погрешности, относящиеся к СК4-БЕЛАН 32М/70М. Клавиша «dENR ГШ» показывает погрешность нормировки ИОШТ для используемого ГШ. Клавиша «КСВН ГШ» показывает КСВН выхода данного ГШ, данный параметр нормируется Клавиша «dПогр.Усил.» производителем ΓШ. показывает остаточную СК4-БЕЛАН 32M/70M, неопределенность измерения усиления эта величина нормируется производителем для конкретного прибора. Клавиша «dПогр.КШ.» показывает остаточную неопределенность измерения коэффициента шума СК4-БЕЛАН 32М/70М, данная величина нормируется производителем для конкретного прибора. Клавиша «Собств.КШ» показывает собственный коэффициент шума СК4-БЕЛАН 32M/70M на данной частоте, данный параметр нормируется производителем для прибора с данным заводским номером. Клавиша «Собств.КСВН» показывает КСВН входа СК4-БЕЛАН 32М/70М на данной частоте в режиме включенного усилителя и выключенного входного аттенюатора, данный параметр нормируется производителем для прибора с данным заводским номером. Программные клавиши данного меню не подлежат изменению. Для изменения параметров ГШ (когда пользователь использует собственный ГШ) пользователю необходимо связаться с производителем СК4-БЕЛАН 32M/70M.

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

В анализаторах спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М реализовано две опции следящих генераторов (см. раздел 1.3 на странице 4). 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 32М/70М, различаются аппаратным составом. В состав опции 002 входит только встроенный модуль следящего генератора, который в скалярных измерениях четырехполюсников (ЧП) является источником зондирующего сигнала. Опция 020, помимо 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 32М/70М с опцией 002 без дополнительных аксессуаров возможно измерение только модуля коэффициента передачи ЧП. С внешним мостом или направленным ответвителем возможно также измерение модуля коэффициента отражения объекта измерения (в формате обратные потери или коэффициент стоячей волны по напряжению - КСВН). Однако измерение модулей коэффициента передачи и отражения в приборах с опцией 002 принципиально не может осуществляться одновременно. Ключевым отличием СК4-БЕЛАН 32М/70М с опцией 020 является возможность одновременного измерения коэффициента передачи отражения. Соответственно. модулей И финкции программного обеспечения применительно к скалярным измерениям для опций 002 и 020 определенным образом различаются. Передняя панель прибора СК4-БЕЛАН 32М/70М с опцией 002, 020 отличается от передней панели анализатора с базовой конфигурацией наличием дополнительного РЧ разъема «ВЫХОД 50 Ом». Если опции трекинг-генератора нет, на месте данного разъема устанавливается заглушка.

3.2.1 Измерение модуля коэффициента передачи и отражения с опцией 002

Трекинг-генератор прибора, оснащенного опцией 002, работает в диапазоне частот от 10 МГц до 3,2 ГГц. Уровень мощности выходного сигнала может регулироваться в пределах от +5дБм до -5дБм с шагом 1 дБ. Переход в меню трекинг-генератора осуществляется нажатием программной клавиши «СЛЕД.ГЕН.», расположенной в секции функциональных клавиш. При этом пользователь видит на экране изображение, приведенное на рисунке 90.

Программная клавиша **«Мощность Вкл. Выкл.»** включает и выключает трекинггенератор. Если нажимается клавиша **«Мощность»**, происходит активация следящего генератора при уровне выходной мощности, который отображается в данной программной клавише как текущее значение параметра (например, на рисунке 91 этот уровень составляет +5 дБм). При этом разметка вертикальной шкалы будет изменена с абсолютных значений на относительные. Поэтому следует заранее определить значение выходной мощности ГКЧ и амплитудные параметры приемного тракта анализатора, исходя из предполагаемых характеристик тестируемого устройства. Принимая во внимание ожидаемое значение мощности на выходе объекта измерения, следует соответствующим образом отрегулировать опорный уровень в режиме анализатора спектра и, при необходимости, ввести дополнительное ослабление в приемном тракте при помощи входного аттенюатора. Например: если объектом измерения будет усилитель, требующий зондирующего сигнала -5 дБм и дающий на выходе мощность +10 дБм, то опорный уровень анализатора спектра нужно установить в положение не менее +10 дБм и, возможно, ввести дополнительное ослабление аттенюатора 10 дБ, чтобы избежать перегрузки входных каскадов прибора.

Рисунок 90.



Если соединить при помощи кабеля вход анализатора спектра с выходом ГКЧ и включить мощность, то на экране вместо шумов будет отображена линия, имеющая монотонную характеристику, соответствующую аппаратной неравномерности выходной мощности следящего генератора (см. рисунок 91). Общая схема калибровки и измерения модуля коэффициента передачи четырехполюсника при помощи СК4-БЕЛАН 32М/70М с опцией 002 приведена на рисунке 92.



Рисунок 91.

Программная клавиша «Калибр.проход» служит для запуска калибровки на сквозное соединение – операции, необходимой для корректных измерений АЧХ четырехполюсника (например, фильтра или усилителя). При помощи калибровки на сквозное соединение математически компенсируется частотная неравномерность выходной мощности трекинг-генератора, частотная неравномерность входного тракта анализатора спектра, а также ослабление в используемом кабеле и переходах. Если

нажать на программную клавишу «Калибр.проход», то на экране прибора появится предупредительная надпись (см. рисунок 93), напоминающая о том, что для выполнения калибровки на проход выход ГКЧ должен быть подключен ко входу анализатора (см. схему калибровки на рисунке 92).

Рисунок 92.



После калибровки на сквозное соединение сравнительно неравномерная линия выхода ГКЧ на экране превращается в прямую, а в программной клавише «Калибр.проход» режим параметра изменится на «Вкл.» (см. рисунок 94).

Рисунок 93.

ELVIRA (T	IM) BEL	AN - 32	M V32.02	- 07.04.	52.06	_	Friday, D	ecember	05, 2014	14:01:27	Трекинг->
S21 10	дБ/	Mo	эщн.ЗС	5 дБм А	ктт.3C=	0 дБ					
10.00	~~~~			········						~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	Мощность 5.00 дБм
0.00											вка Выкл
-10.00											Вид S21 дБ
-20.00		КАЛ	ИБР	ОВК/	а ИЗ	MEP	ЕНИ	Я S2	21 dB	;	Калибр.проход
-30.00		Coe	дини	те на	а прс	ход	вых	од (След	.ген.	Вкл <u>Выкл</u>
-40.00		иΒХ	(од л	АС И	HΑ>	кми	TE E	вод			Калиор.КЗ
-50.00											Калибр.ХХ
-60.00											Вкл Выка
-70.00											График->
-80.00											
-90.00											Измерить
Центр 1. ФПЧ 3. М	.605 ГІ ИГц	ц		В	Φ 100.	кГц			Обзор Разв.	3.19 ГГц 100. мс	\$11 <u> 521 </u>

((int) been to be in tob.	SE OTIONSEIDO THIADY,	December 00, 2011 11:10:00	
10 дБ/ Мощн.34	С 5 дБм Атт.3С=0 дБ		
			Мошность
Маркер			5.00 дБм
1.055114	· · · · · · · · · · · · · · · · ·		ака Вы
15211-0.00 AB			
			ВИД
			1921140
			алибр.прохо
			<u>3кл</u> Вы
			Калибр КЗ
			кл вык
			калиор.хх
			кл Вын
			График->
			Измерить
) 1.055 ГГц	R# 100	Обзор 2.09 ГГц 📢	S11 <u> S2</u>
э. тип ц		Pase. TUU. MC	
поровка на проход	ЗАВЕРШЕНА		

При измерении АЧХ четырехполюсника, тестируемое устройство включается в разрыв в точке соединения кабелей (плоскость калибровки на рисунке 92). Желательно, чтобы плоскость калибровки приходилась непосредственно на разъемы тестируемого устройства. Если подключить тестируемое устройство без дополнительных переходов не представляется возможным, используйте высококачественные переходы с минимальным уровнем вносимого ослабления и малым КСВН.



Последовательность действий при тестировании модуля коэффициента передачи на СК4-БЕЛАН 32М/70М с опцией 002 должна быть такой следующей. Необходимо выбрать полосу частот в меню «**ЧАСТОТА**» путем назначения начальной и конечной

СК4-БЕЛАН 32М/70М с опцией 002 должна быть такой следующей. Необходимо выбрать полосу частот в меню «**ЧАСТОТА**» путем назначения начальной и конечной частоты, либо путем установки центральной частоты и полосы обзора; выбрать опорный уровень и параметры аттенюатора приемного тракта, исходя из ожидаемого значения мощности на выходе объекта измерения; перейти в меню «**СЛЕД.ГЕН.**»; включить мощность ГКЧ, предварительно выбрав нужное значение выходного уровня; соединить кабели в точке плоскости калибровки, как показано на рисунке 92; выполнить калибровку на сквозное соединение нажатием программной клавиши

Рисунок 95.

«Калибр.проход» и кнопки «ВВОД»; затем включить в разрыв тестируемое устройство и измерить его АЧХ. Измеренная АЧХ типичного полосового фильтра (центральная частота 1125 МГц) показана на рисунке 95.

Рисунок 96.



Поскольку СК4-БЕЛАН 32М/70М, оснащенный опцией 002, может измерять или модуль коэффициента передачи, или (с внешним мостом измерения обратных потерь) модуль коэффициента отражения, но не оба эти параметра одновременно, в основном меню следящего генератора реализована программная клавиша «Измерить». Назначение этой клавиши заключается в переключении между измерениями |S21| и |S11|, соответственно. Режим параметра данной клавиши может находиться или в положении S21, что для прибора с опцией 002 является режимом по умолчанию, или в положении |S11|, который должен принудительно выставляться пользователем при измерении модуля коэффициента отражения с внешним мостом. Программная клавиша «Вид» определяет вид графика, который выводится на экран прибора и связана с режимом клавиши «Измерить». При включенном измерении |S21| на приборе с опцией 002 (режим программной клавиши «Измерить» находится в положении |S21|) единственным графиком, который может отображаться, является модуль коэффициента передачи в логарифмическом масштабе - [S21]дБ. Данный вид графика выводится как текущее значение параметра в программной клавише «Вид». При включенном измерении |S11| с использованием внешнего моста (режим программной клавиши «Измерить» принудительно переключен пользователем в положение |S11|) доступно два дополнительных графика: |S11|дБ, |S11|КСВН, а также их одновременное представление |S11|КСВН+|S11|дБ. Все они последовательно выводятся повторным нажатием на программную клавишу «Вид».

Через программную клавишу «График->» в основном программном меню следящего генератора обеспечивается доступ в дополнительное меню «Трек.График» (рисунок 96), где можно масштабировать график и сохранить его в память. Программная клавиша «Выбор» позволяет выбрать тип графика, к которому будут применяться параметры масштабирования. Таких графиков может быть три: |S21| дБ, |S11| дБ, |S11| КСВН. Программная клавиша «Опорн.Ур» позволяет задать произвольное значение коэффициента передачи (отражения) для опорного уровня, относительно которого будет рассчитываться по вертикали логарифмическая решетка в соответствии с выбранным масштабом. По умолчанию значение коэффициента передачи (отражения) опорного уровня приравнивается к 0 дБ. На рисунке 97 показано, как изменяется

положение графика на вертикальной оси при изменении опорного уровня с 0 дБ до -10 дБ при сохранении прочих параметров масштаба неизменными.

Рисунок 97.



Рисунок 98.



Аналогичного эффекта можно добиться, если при значении коэффициента передачи опорного уровня 0 дБ изменить положение опорного уровня на вертикальной оси (см. рисунок 98). Это действие выполняется при помощи программной клавиши «Поз.Оп.Ур.», которая определяет, какому делению логарифмической решетки присваивается значение опорного уровня (иными словами, «двигает» заданный опорный уровень по вертикали). Если значение параметра программной клавиши «Поз.Оп.Ур.» равно 0, то заданное значение опорного уровня (например, коэффициент передачи 0 дБ) соответствует самой нижней линии масштабной сетки. Если значение параметра программной клавиши «Поз.Оп.Ур.» 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 «**Масштаб**» 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.

Рисунок 99.



Динамика измерения модуля коэффициента передачи определяется разностью между уровнем зондирования и уровнем шумов анализатора спектра при заданном фильтре ПЧ. Отсюда следует, что для достижения максимального динамического диапазона следует использовать минимально допустимый с точки зрения приемлемого времени развертки фильтр ПЧ и максимальный уровень мощности зондирующего сигнала. При этом уровень зондирования не должен вызывать перегрузку входных каскадов прибора. Таким образом, при повышении уровня зондирующего сигнала следует обращать внимание на служебные сообщения о перегрузке на экране анализатора. На рисунке 99 показано улучшение динамического диапазона измерения |S21| полосового фильтра 1125 МГц при сужении полосы пропускания с 3 МГц до 30 кГц. Для визуализации эффекта увеличения динамического диапазона использовалась функция сохранения графика в память. Эта функция реализуется при помощи программной клавиши «Память». При нажатии данной программной клавиши текущий график сохраняется в память для последующего сравнения с новыми графиками и отображается на экране более ярким цветом (см. рисунок 99), режим программной клавиши «Память» при этом изменяется на Вкл.

При тестировании модуля коэффициента отражения |S11| четырехполюсника при помощи анализатора спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М 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 |S11| тестируемого устройства при помощи внешнего направленного ответвителя показана на рисунке 100.



Последовательность действий при тестировании модуля коэффициента отражения |S11| на анализаторе СК4-БЕЛАН 32М/70М с опцией 002 должна быть такой. Следует нажать кнопку «ЧАСТ.» 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 «СЛЕД.ГЕН.», выбрать уровень выходного сигнала и включить мощность ГКЧ. Осуществить правильное подключение направленного ответвителя (см. рисунок 100). Направленный ответвитель подключается к выходу ГКЧ в обратном направлении, то есть его связанное плечо соединяется с входом анализатора спектра, а к прямому подключается тестируемое устройство. Нажать программную клавишу плечи «Измерить» (эта программная клавиша отсутствует у приборов с опцией 020, где есть встроенный мост измерения обратных потерь). Как говорилось выше, по умолчанию режим данной программной клавиши установлен в положение [S21]. При нажатии на программную клавишу «Измерить» ее режим будет принудительно изменен на [S11].

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 (K3), только на холостоходное соединение (XX), и на K3 плюс XX. Калибровка на K3 / XX / K3 и XX осуществляется в точке подключения тестируемого устройства (см. рисунок 100). Когда в точку подключения тестируемого устройства присоединена мера K3, следует нажать

на программную клавишу «Калибр.КЗ» и затем подтвердить запуск калибровки по мере КЗ нажатием кнопки «ВВОД». После выполнения калибровки на экране появится относительно прямая линия с уровнем обратных потерь в 0 дБ. Аналогичным образом (нажатием клавиш «Калибр.ХХ» и «ВВОД») выполняется калибровка на холостоходное соединение (см. рисунок 100).

Рисунок 101.



ELVIRA (TM) BELAN - 32 M V32.02 - 07.04.52.07 Tuesday, December 23, 2014 09:4 Трек.Графин Мощн. ЗС -6 дБм Атт. ЗС=10 дБ |S11| 10 дБ Выбор IS11IдБ Маркер 1.129333333 ГГц КСВН=1.2819 |S11|=-18.16 дБ Опорн.Ур. 0.00 дБ Поз.Оп.Ур **Масштаб** 10.дБ/дел. Память Mr Центр 1.105 ГГц №ПЧ 10. кГц Обзор 2.19 ГГц Разв. 247.15 мо ВΦ 100. кГі Уст. МРК

Рисунок 102.

Если качественной меры полного отражения XX нет в наличии, при калибровке на XX тестовый порт направленного ответвителя можно просто оставить открытым. Калиброваться на K3 без меры K3 нельзя. Если нет меры K3, то разумно ограничиться лишь калибровкой на холостой ход. Последовательность выполнения калибровок на K3 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 **Вкл.** будет активирован только в одной из программных клавиш «Калибр.КЗ» или «Калибр.ХХ» (что позволяет проконтролировать, по какой именно из мер полного отражения калибровальсь). 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 **Вкл.** 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 четырехполюсника, следует присоединить тестируемое устройство в точку калибровки (см. рисунок 100). Выход четырехполюсника при этом должен быть нагружен на 50 Ом. Для прибора с опцией 002 существует два формата представления модуля коэффициента отражения: **[S11] дБ** (обратные потери в дБ) и **[S11] КСВН** (коэффициент стоячей волны по напряжению или КСВН). Выбор между этими форматами осуществляется при помощи программной клавиши «**Вид**». Также эти форматы могут отображаться одновременно в режиме наложения. Выбранный формат отображается как текущее значение параметра программной клавиши «**Вид**». На рисунке 101 показано измерение обратных потерь и КСВН того же тестового фильтра в режиме наложения.

Масштабирование и перемещение графика обратных потерь или КСВН по вертикальной оси, а также его сохранение в память осуществляется через дополнительное меню программной клавиши «График» таким же образом, как описано выше для процедуры измерения |S21|. Отдельное внимание нужно обратить лишь на специфику масштабирования графика [S11] КСВН. Для него не может быть изменено положение опорного уровня. Опорный уровень для графика КСВН равен единице и всегда располагается на нижней линии масштабной сетки (в программной клавише «Поз.On.Ур.» установлено значение параметра 0). Это связано с тем, что значений КСВН меньше единицы быть не может.

При измерении модуля коэффициента отражения на приборах СК4-БЕЛАН 32М/70М 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 [S11], но не единственным. В качестве пояснительного примера рассмотрим прибор с опцией 002 (следящий генератор до 3 ГГц). Предположим, что в качестве объекта измерения выбрано пассивное устройство. В этом случае рекомендуется выставить уровень мощности зондирующего сигнала в +5 дБм, опорный уровень в режиме анализатора спектра установить в положение ≥0 дБм. При этом в приемном анализатора спектра принудительно установлено тракте будет 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 Agilent 86205А 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 Agilent 86205А. 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 трекинггенератора СК4-БЕЛАН 240М/400М 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. Таким образом, при максимальной мощности зондирующего сигнала в +5 дБм величина 0 дБ обратных потерь с учетом фиксированного 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 Agilent 86205A. Если же используется мост большей направленности, необходимо сужать полосу пропускания для улучшения чувствительности дополнительно 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 фиксированный 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.

3.2.2 Измерение модуля коэффициента передачи и отражения с опцией 020

В анализаторах спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М 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 (S11), а также возможных форматов представления данных. Поскольку в СК4-БЕЛАН 32М/70М с опцией 020 мост измерения обратных потерь высокой направленности уже встроен, направленного ответвителя для измерения модуля коэффициента внешнего отражения не нужно. Кроме того, измерение модуля коэффициента передачи (S21) и модуля коэффициента отражения |S11| может осуществляться одновременно. И, наконец, благодаря наличию ступенчатого аттенюатора (с диапазоном регулировки 50 дБ ступенями по 10 дБ) в тракте источника зондирующего сигнала, у приборов с опцией 020 может быть существенным образом улучшено согласование по выходу трекинггенератора. Все это позволяет сделать скалярные измерения четырехполюсников на приборах с опцией 020 более удобными, повторяющимися и достоверными.

Рисунок 103.



Последовательность действий при тестировании модуля коэффициента отражения |S11| и модуля коэффициента передачи |S21| на анализаторе СК4-БЕЛАН 32М/70М с опцией 020 должна быть такой. Следует нажать кнопку «ЧАСТ.» 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 «СЛЕД.ГЕН.», включить мощность ГКЧ (предварительно выставив требуемый уровень выходной мощности). Осуществить калибровку на проход (сквозное соединение) и на отражение, как показано на рисунке 104. На первом шаге калибровки (калибровка на проход) необходимо, соединив кабели в точке плоскости калибровки, нажать программную клавишу «Калибр.проход» и кнопку «ВВОД». После выполнения процедуры калибровки на проход в программной клавише «Калибр.проход» включится режим параметра Вкл. На втором шаге следует выполнить калибровку на отражение. Для этого следует рассоединить кабели, как показано на рисунке 104. Предусмотрено три варианта калибровки на отражение: только на короткозамкнутое соединение (КЗ), только на холостоходное соединение (XX), и на КЗ плюс XX. Калибровка на КЗ / XX / КЗ и XX осуществляется в точке подключения тестируемого устройства (см. рисунок 104), меры присоединяются только к концу кабеля, подключенного к выходу ГКЧ (их нельзя подключать к концу кабеля, присоединенного к входу анализатора спектра). При нажатии на программную клавишу

«Калибр.КЗ» появляется предупредительная надпись, где предлагается присоединить в плоскости калибровки меру короткого замыкания и по готовности нажать «**BBOД**». После выполнения калибровки на экране появится относительно прямая линия с уровнем обратных потерь в 0 дБ. При нажатии на программную клавишу «Калибр.ХХ» появляется надпись, где предлагается присоединить в плоскости калибровки меру холостого хода и по готовности нажать «**BBOД**».

Рисунок 104.



Если качественной меры полного отражения XX нет в наличии, при калибровке на XX тестовый порт можно просто оставить открытым. Калиброваться на K3 без меры K3 нельзя. Если нет меры K3, то разумно ограничиться лишь калибровкой на холостой ход. Последовательность выполнения калибровок на K3 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 **Вкл.** будет включен только в одной из программных клавиш «**Калибр.К3**» или «**Калибр.ХX**» (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 **Вкл.** будет активирован в обеих программных клавишах). Это позволяет снизить в два раза максимальную дисперсию (ripple) полного отражения на измерительной трассе.



Рисунок 105.

Как уже было сказано, помимо аппаратных особенностей, у опции 020 есть ряд дополнительных возможностей программного обеспечения в части представления Если у приборов с опцией 002 программная клавиша «Вид» данных измерения. предоставляет возможность выбора всего из четырех вариантов формата результатов измерения: |S21|дБ (модуль коэффициента передачи в дБ), |S11|дБ (модуль коэффициента отражения в дБ), [S11]КСВН (модуль коэффициента отражения как КСВН), **S11 КСВН**+**S11 Б** (наложение графиков обратных потерь и КСВН), то в опции 020 добавляется еще 2 формата, связанные с одновременным представлением (S11) и |S21|. Это 2 формата вывода данных, связанные с наложением графиков модулей коэффициента передачи и отражения: |S11|дБ+|S21|дБ (см. рисунок 103) и **|S11|КСВН+|S21|дБ** (см. рисунок 105). Масштабирование и сохранение графиков в память осуществляется через дополнительное меню программной клавиши «График->» тем же способом, как описано в разделе 3.2.1. Важно помнить, что функции масштабирования всегда применяются только к тому графику, который отображается как текущий параметр в программной клавише «Выбор».

Сохранение данных скалярных измерений осуществляется согласно общей процедуре, описанной в разделе 2.4.10. 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, KCBH. 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.

3.3 Стандартные автоматические измерения

Анализаторы спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М имеют набор стандартных встроенных автоматических измерений. Доступ к автоматическим измерениям осуществляется при помощи клавиши «ИЗМЕР.» в секции функциональных клавиш на передней панели прибора. Автоматические измерения делятся на две группы: связанные с частотой (программная клавиша «ЧАСТОТА») и связанные с мощностью (программная клавиша «МОЩНОСТЬ») – как показано на рисунке 106.

Рисунок 106.



ELVIRA (TM) BELAN - 32 M V32.02 - 07.04.52.06 Wednesday, December 10, 2014 09:26:02 Изм. частот 1.00 n.BM Аттен 20.00 дБ Пол 10-00 л.В МРК Изм. Част Маркер 1.999998633 ГГц Вык -0.84 дБм Разрешение 1 Гц 20.00 Девиация Полоса обзора 5. МГц Выч. Полосы 1.999998633 FFu ВΦ 100. кГі

Рисунок 107.

На рисунке 107 показаны программные клавиши, которые позволяют выполнять автоматические измерения, связанные с частотой. Программная клавиша «**МРК Изм. Част.**» включает и выключает режим счетчика частоты. Программная клавиша «**Разрешение**» позволяет задать разрешение счетчика. Программная клавиша «**Девиация**» активирует режим измерения девиации ЧМ сигнала. Программная клавиша клавиша «**Выч.Полосы**» обеспечивает доступ в меню автоматического измерения ширины полосы, занимаемой сигналом. Каждое из этих измерений будет детально рассмотрено ниже.





На рисунке 108 показаны программные клавиши, которые позволяют осуществлять измерения. автоматические связанные С амплитудой. Программная клавиша «Мощн.Кан.» обеспечивает доступ в меню измерения мощности канале. Программная клавиша «Мощн.Соседн.» 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 «Гармонич. Искажения->» открывает меню автоматического измерения гармонических искажений. Программная клавиша «Глубина АМ» включает и выключает измерение глубины АМ амплитудно-модулированного сигнала. Программная клавиша «Фаз.Шум->» открывает меню автоматического измерения спектральной плотности мощности фазовых шумов (СПМ ФШ). Каждое из этих измерений детально рассматривается ниже. Программная клавиша «Изм.КШ->» открывает меню измерения коэффициента шума (данный вид измерений требует установки опций 005 и 006 и подробно рассматривается в разделе 3.1).

3.3.1 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 «ПОИСК», затем кнопку «МРК→» и затем программную клавишу «МРК→ЦЧ»). Установите полосу обзора ≤100 МГц, ФПЧ и видео фильтр – по умолчанию. Установите требуемое значение разрешения счетчика при помощи программной клавиши «Разрешение» (1 Гц, 10 Гц, 100 Гц или 1 кГц). Запустите измерение нажатием на программную клавишу «МРК Изм. Част.». Режим параметра клавиши должен измениться с Выкл. на Вкл. Измеренное счетчиком значение частоты будет отображено под масштабной сеткой внизу экрана (см. рисунок 109).



Рисунок 109.

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:

ΔF = ±(F_{MEAS} x REF_{ACCURACY} + 2 Гц + LSD), где

(3.3.1.1)

F_{MEAS} – измеренное значение частоты

REF_{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

Нужно иметь в виду, что 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.

3.3.2 Измерение девиации

Для измерения девиации ЧМ сигнала следует выполнить следующие действия. Нажать кнопку **«НАЧ.УСТ.»**, установить сигнал в центр полосы обзора (нажав кнопки **«ПОИСК»**, **«МРК**—» и затем программную клавишу **«МРК**—**ЦЧ**»). 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 **ровно** 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 **«Девиация»**. Знечение девиации будет отображено под масштабной сеткой внизу экрана (см. рисунок 110).

Рисунок 110.



Анализаторы спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М 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 110 показан пример измерения девиации в 500 Гц на ЧМ сигнале 860 МГц, модулированном с частотой 1 кГц.

На рисунке 111 показан пример измерение девиации в 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 112 проиллюстрировано измерение девиации 200 кГц на ЧМ сигнале 860 МГц, модулированном с частотой 1 кГц (индекс модуляции равен 200). Как показано на

рисунке 112, для более четкой визуализации пиков девиации можно использовать функцию «Удерж.Макс» в меню программных клавиш соответствующего графика.

Рисунок 111.



Рисунок 112.



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

3.3.3 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 «Выч.Полосы» в меню автоматических частотных измерений.





Для измерения полосы, занимаемой сигналом, необходимо выполнить следующие действия. Анализатор настроить на несущую частоту (нажать кнопки «ПОИСК», «МРК—» и затем программную клавишу «МРК—ЦЧ»). При помощи программной клавиши «Полоса» установить полосу обзора в 3-5 раз шире, чем визуальная полоса сигнала (либо руководствуясь требованиями частотная 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 «Выч.полосы Вкл.» для запуска измерения. Режим параметра программной клавиши изменится на Вкл., а значение полосы частот, занимаемой сигналом, отобразится в левом нижнем углу экрана (как показано на рисунке 113).

В процессе измерения анализатор спектра сначала рассчитывает общую интегральную мощность в полосе частот, предварительно заданной при помощи программной клавиши «Полоса», 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 «% мощн.» 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. В соответствии с требованиями конкретного связного стандарта. Уровень относительно максимума (в примере на рисунке 113 он равен -30 дБ) задается при помощи программной клавиши «Ур.излучения».

3.3.4 Измерение мощности в канале

Доступ в меню автоматического измерения мощности в канале осуществляется при помощи программной клавиши «**Мощн.Кан.**» в меню автоматических измерений мощности. Программные клавиши меню измерения мощности в канале показаны на рисунке 114.



ELVIRA (TM) BELAN - 32 M V32.02 - 07.04.52.07 Monday, December 15, 2014 11:5 0.00 дБі 10.00 дЕ Усреднение Измерить Вкл Выкл Полоса 4. МГц 40.00 Допуск 0.00 дБм Усреднение по 20 80.0 Мошность в канале 0.34 дБм/4. МГц -65.68 дБм/Гц Обзор 40. МГц Рээр 98 мс ентр 2.1 ГГц ПЧ 100 кГц сред

Автоматическое измерение мощности в канале является одним из ключевых во многих связных 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 «Полоса» 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 параллельными вертикальными линиями. Программная

Рисунок 115.

клавиша **«Допуск»** 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 114). Если же интегральная мощность в канале оказывается выше порогового значения, то прямоугольник окрашивается в красный цвет (см. рисунок 115). Подобная цветовая градация упрощает допусковый контроль при настройке РЧ передатчиков. Программная клавиша **--Васк** 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 «Перегрузка»). При необходимости установить требуемое количество усреднений и пороговое значение мощности. Запустить измерение нажатием на клавишу «Измерить». Измеренное значение мощности в канале и спектральной плотности мощности будет отображено внизу экрана (как показано на рисунках 114-115).

3.3.5 Измерение мощности в соседнем канале

Доступ в меню автоматического измерения мощности в соседнем канале осуществляется при помощи программной клавиши «Мощн.Соседн.» в меню автоматических измерений мощности. Программные клавиши меню автоматического измерения мощности в соседнем канале показаны на рисунке 116.

Рисунок 116.



Измерение мощности в соседнем канале также является одним из базовых тестов для передатчиков в большинстве связных 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 «Полоса» в соответствии с требованиями конкретного связного 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 «Отстройка А», «Отстройка В» и «Отстройка С». 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 разных цветов.

Программная клавиша «Допуски->» (см. рисунок 116) обеспечивает доступ к дополнительному меню, в котором можно редактировать пороговые значения интегральной мощности для всех трех пар (верхнего и нижнего) соседних каналов. Программная клавиша «Допуск А» задает порог по мощности в абсолютных единицах для нижнего и верхнего соседнего канала на отстройке А от частоты основного канала. Аналогичным образом программные клавиши «Допуск В» и «Допуск С» позволяют задать пороговые значения для верхнего и нижнего соседних каналов на отстройках В и С от частоты основного канала. Текущие пороговые значения отображаются в соответствующих программных клавишах в качестве используемого параметра. Программная клавиша «Включить» активирует режим допускового контроля. Программная клавиша «<-Назад» 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, образованные вертикальными линиями частотных границ каналов и горизонтальными линиями масштабной сетки, в зеленый цвет, если значения мощности оказываются ниже порогового уровня, и в красный цвет, если значения мощности превышают заданный порог (см. рисунок 117).

Для автоматического измерения мощности в соседнем канале необходимо выполнить следующие действия. Настроить анализатор спектра на центральную частоту основного канала. Убедиться, что измеряемый сигнал не перегружает входные каскады прибора (на экране отсутствует предупредительное сообщение «**Перегрузка**»). 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 «**Измерить**». Измеренные абсолютные значения мощности в осседних 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 117).

ELVIRA (TM) BELAN	- 32 M V32.02 - 07.	04.52.07 M	londay, D	ecember	15, 2014 11:5:	Допуски
Ур. 0.00 дБм	Аттен 3	20.00 дБ			Лог 10.00 дБ/	
			пелнени	*	>	Включить
10.00				-		
		land had				<u>Вкл</u> Выкл
20.00		and the held				Допуск А
30.00						-15.00 дБм
40.00			NUMBER OF			
40.00	Photoe A			antitutional.		Допуск В
50.00 IOJ	оса соседне	его кан	ала			-35.00 дБм
eo oo			L III	and a finan di		
hiteland					Alleddara a dd	Допуск С
70.00			l l	\ [li li coltra to	-40.00 дБм
eo oo 1100				l.		
	ſ				and dates.	<-Назад
90.00						
100.00						
	Уровень несуще	й-0.65дБм	<i>и</i> /4. МГц			
Отстройка	Полоса	Ниж	княя		3ерхняя	
	=	дБм	дБн	дБм	дБн	
5. MI Ц 10. ME	4. MFu	-20.56	-19.92	-21.01	-20.37	
то. Мі ц	4. МI Ц 4. МГ	-40.54	-39.90	-31.11	-30.46	
15. МІ Ц Іентр 2 1025 ГГц	4. МГЦ	-40.36	-39.71	-41.23	-40.58 6300-40 MEu	
ФПЧ 100. кГц	ΒΦ 1	00. кГц			Разв. 98. мс	
Полоса						

Рисунок 117.

3.3.6 Измерение гармонических искажений

Доступ в меню автоматического измерения гармонических искажений осуществляется нажатием программной клавиши «Гармонич.Искажения->» 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 118). При помощи программной клавиши «Гармоник» ввести количество гармоник, уровень которых будет измерен. Введенное количество гармоник будет отображено в данной программной клавише в качестве используемого параметра.



Рисунок 118.

Запустить измерение нажатием программной клавиши «Измерить». 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 119). 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 «Измерить».

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

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_\infty^2}}{V_1} \tag{3.3.6.1}$$
Если необходимо рассчитать коэффициент нелинейных искажений, следует нажать программную клавишу «КНИ». Режим параметра в данной программной клавише изменится на Вкл., а рассчитанное значение коэффициента нелинейных искажений будет отображено в процентном виде в правой части экрана.

Рисунок 119.



3.3.7 Измерение глубины АМ

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

АМ (%) = 2 х 10^{A/20}, где

АМ (%) – глубина АМ в процентах;

А – измеренный уровень боковой полосы в дБ относительно несущей.

Рисунок 120.

(3.3.7.1)





Рисунок 121.

Для осуществления правильного измерения следует выполнить следующие действия. Настроить анализатор спектра на несущую частоту. Определить при помощи дельтамаркера 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 «ПОИСК», «**МРК->»** и затем программную клавишу «**МРК->ЦЧ».** После этого маркер #1 должен находиться на пике сигнала несущей. Нажать кнопку «**МРК**». Активировать маркеры #2 и #3 и разместить их на пики ближайшей нижней и ближайшей верхней боковой полосы соответственно. Включить измерение нажатием программной клавиши «**Глубина AM**». Режим параметра данной клавиши изменится на **Вкл.**, а измеренное значение глубины AM будет отображено желтым текстом справа от центра экрана (см. рисунок 120).

Рисунок 122.



Анализаторы спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М позволяют выполнять измерения глубины АМ в диапазоне от 0.1% до 100%, как показано на рисунках 121-122.

3.3.8 Измерение фазовых шумов

В анализаторах спектра СК4-БЕЛАН 32М/70М реализовано два способа измерения фазовых шумов. Первый способ представляет собой измерение фазового шума при помощи дельта-маркера на фиксированной отстройке от сигнала - в точке. Второй способ заключается в автоматическом измерении и представлении спектральной плотности мощности фазового шума (СПМ ФШ) как функции отстройки от несущей отстроек выводится ПО частоты. когда диапазон горизонтальной ОСИ в логарифмическом масштабе. В обоих случаях СПМ ФШ измеряется в одиночной боковой полосе, и пересчитывается в полосу 1 Гц. Оба способа реализуются в базовой конфигурации прибора.

Для измерения СПМ ФШ на фиксированной отстройке от несущей частоты необходимо выполнить следующие действия. Настроиться на исследуемый сигнал (в примере на рисунке 123 – это сигнал с частотой 1 ГГц). Установить такое значение полосы обзора, чтобы в нее попадала интересующая отстройка и отстояла от несущей хотя бы на одно горизонтальное деление (например, для измерения СПМ ФШ на отстройке 10 кГц удобна полоса обзора 25 кГц). Последовательно нажать кнопки «ПОИСК», «МРК», затем программную клавишу «МРК Дельта». При помощи рукоятки плавной регулировки данных (или вводом нужного цифрового значения с клавиатуры) переместить дельта-маркер на требуемую отстройку (в примере на рисунке 123 это 10 кГц). Нажать программную клавишу «МРК Шум». Нажать кнопку «ФПЧ», программную клавишу «Усред.», ввести 10 усреднений, дождаться выполнения усреднений. В верхнем левом углу экрана будет выведено значение СПМ ФШ, приведенное к полосе 1 Гц (см. рисунок 123).



Рисунок 123.

Теперь рассмотрим измерение СПМ ФШ в автоматическом режиме с последующим представлением графика ФШ в виде функции отстройки от несущей частоты. Для входа в меню автоматического измерения СПМ ФШ следует нажать клавишу «**ИЗМЕР.**» в секции функциональных клавиш на передней панели прибора, а затем программные клавиши «**МОЩНОСТЬ**» и «**Фаз.Шум->**». Состав основного программного меню автоматического измерения СПМ ФШ показан на рисунке 124.

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 -20 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.







Рисунок 125.

Установить значение входного аттенюатора, фильтра ПЧ и фильтра видео, а также время развертки в положение по умолчанию. 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. В основном программном меню опции измерения фазового шума установить нужные значения начальной и

конечной отстройки при помощи программных клавиш «Нач.Частота» и «Кон.Частота». При помощи программной клавиши «Уровень» установить значение опорного уровня для графика СПМ ФШ. В рамках режима автоматического измерения СПМ ФШ опорный уровень - это значение с размерностью дБн/Гц (децибел относительно сигнала (несущей), приведенный к полосе 1 Гц), которое присваивается верхней линии масштабной сетки. Автоматическое измерение СПМ ФШ запускается нажатием на программную клавишу «Фаз.Шум».





Алгоритм автоматического измерения СПМ ФШ приборами СК4-БЕЛАН 32М/70М 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. После запуска измерения СПМ ФШ анализатор спектра сначала уточняет действительное значение частоты сигнала, настраиваясь на сигнал при последовательном сужении полосы обзора. Затем 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 сигнала 1 ГГц показан на рисунке 125. 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 программном меню фазового шума следует нажать программную клавишу «Показ.Спектр» (см. рисунок 124), режим которой будет принудительно изменен на Вкл. 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 «Сглаживание». 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. По умолчанию сглаживание не используется. Применение сглаживания наиболее информативно в режиме наложения двух графиков. На рисунке 126 желтый график – это исходный «сырой» график с реальной

шумовой дисперсией, а голубой график – это исходный график с применением сглаживания 2%.

Для выполнения наложения графиков, как в примере на рисунке 126, 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 программное меню измерения ФШ и при помощи программной клавиши «**Сглаживание**» 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.

Рисунок 127.



Маркерные измерения на графике СПМ ФШ выполняются в соответствии с разделом 2.4.4. 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 «**МРК**» 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 125). Если на экран нужно одновременно вывести значения нескольких маркеров, следует при помощи программной клавиши «**Уст.МРК**» активировать необходимое количество маркеров, расставить их на графике СПМ ФШ при помощи рукоятки плавной регулировки данных и затем включить таблицу маркеров (см. рисунок 127). Когда на экран было выведено несколько графиков, вертикальное перемасштабирование при включении таблицы маркеров будет применяться только к активному графику.

Программная клавиша «**Сохранить Данные**» в программном меню автоматического измерения 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 128), 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 вычищения).

Рисунок 128.



При измерениях СПМ ФШ на СК4-БЕЛАН 32М/70М следует всегда помнить, что чувствительность данных измерений ограничена собственным фазовым шумом гетеродинов прибора. Поэтому измерения тестовых генераторов с шумами заведомо меньшего уровня (например, кварцевых опорных источников) на анализаторе спектра лишены всякого смысла.

ЗАО ПФ "ЭЛВИРА"

143983 Московская область,

г. Железнодорожный, ул. Заводская, д.10, стр. 1

Телефон: (495) 748-24-33, 748-24-34

e-mail: elv@elvira.ru

сайт в интернете: www.elvira.ru