

Министерство образования и науки  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет “ЛЭТИ”

---

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы по дисциплине  
“Приборы и техника радиоизмерений”

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
АНАЛИЗАТОРА СПЕКТРА  
GSP-827

Санкт-Петербург  
2012

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНАЛИЗАТОРА СПЕКТРА GSP-827

В работе изучаются устройство и принцип действия высокочастотного анализатора спектра последовательного типа. Исследуются спектральные параметры сигнала калибратора, измеряются пороговая чувствительность и разрешающая способность прибора.

### Краткие сведения об анализаторах спектра

Вспомним существующие спектральные характеристики радиосигнала. Для сигнала  $u(t)$  вводят *спектральную функцию* (или *спектральную плотность*), определяемую прямым преобразованием Фурье:

$$\dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-i\omega t} dt$$

Эта функция – комплексная.  $\dot{S}(\omega)$  измеряется в вольтах деленных на герц и представляет распределение амплитуд и фаз гармонических составляющих по частотной оси. Спектральная функция существует при абсолютной интегрируемости сигнала. Для реальных сигналов это условие обычно всегда выполняется.

Спектральная функция – это функционал уже закончившегося процесса (интеграл берется до «бесконечного» времени). В реальных условиях измерять можно только *текущий частотный спектр*:

$$\dot{S}(\omega, t) = \int_{-\infty}^t u(t)e^{-i\omega t} dt,$$

характеризующий незаконченный процесс. Обычно измеряют модуль этого выражения, его называют амплитудной спектральной функцией или, проще, амплитудным спектром сигнала. Фазу измерить сложнее, поэтому в стандартных измерительных задачах этого не делают.

Для периодических бесконечных сигналов используют спектральное представление сигнала в виде *ряда Фурье*:

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n \cos\left(n \frac{2\pi}{T} t + \varphi_n\right),$$

где  $T$  – период повторения сигнала ( $u(t \pm kT) = u(t)$ ,  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ );  $U_0$  – постоянная составляющая (среднее значение сигнала).

Ряд представляет собой совокупность гармонических колебаний с кратными частотами. Совокупность амплитуд  $U_n$  и начальных фаз  $\varphi_n$  гармоник называют *амплитудным* и *фазовым спектром* периодического сигнала. Практический интерес представляет измерение амплитудного спектра, т.е. множества амплитуд гармоник и их частот.

Особый класс сигналов, которые исследуют в спектральной области – это случайные (шумовые) сигналы. Важной характеристикой шумового сигнала является его *спектральная плотность мощности*:

$$W(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|\dot{S}(\omega, t)|^2}{T}.$$

Здесь  $\dot{S}(\omega, t)$  – спектральная плотность реализации случайного процесса в интервале  $[-T/2, T/2]$ . Спектральная плотность мощности измеряется в вольтах в квадрате в секунду, что совпадает с размерностью энергии сигнала, поэтому иногда говорят об *энергетическом спектре* случайного сигнала. Фактически это характеристика распределения мощности случайного сигнала по частоте.

Сформулируем измерительные задачи спектрального анализа сигналов:

определение амплитуд и частот гармонических составляющих периодических сигналов;

измерение амплитудной спектральной функции непериодических сигналов;

измерение спектральной плотности мощности случайных сигналов.

Эти задачи решаются анализатором спектра (АС). В радиоизмерениях наиболее распространены АС последовательного типа, позволяющие исследовать спектры сигналов в широком диапазоне частот. Принцип действия таких приборов напоминает принцип действия супергетеродинного радиоприемника. АС последовательно настраивается на различные частоты спектра входного сигнала. Выделенный фильтром сигнал детектируется. Уровень сигнала на выходе детектора соответствует амплитуде спектральной составляющей. Если сигнал с детектора подать на канал вертикального отклонения осциллографического индикатора и обеспечить жесткую связь между частотой настройки АС и положением луча на горизонтальной оси, то на экране получится спектрограмма. Это изображение амплитудного спектра сигнала в виде отдельных импульсов – откликов. Высота откликов соответствует амплитудам гармоник, а положение на горизонтальной оси – их частотам. Такой принцип индикации результатов анализа называют *панорамным*.

## Структурная схема последовательного анализатора спектра

Анализаторы спектра радиосигналов строятся преимущественно по принципу последовательного сканирования частотного диапазона узкополосным фильтром. Фактически такой прибор является узкополосным селективным приемником с супергетеродинным принципом перестройки. Упрощенная структурная схема такого прибора представлена на рис. 3.1.

Исследуемый сигнал через калиброванный аттенюатор подают на смеситель преобразователя частоты. Управление перестройкой частоты гетеродина преобразователя производят пилообразным напряжением  $u_{\text{упр}}(t)$ . Длительность прямого хода напряжения задает *время анализа*  $T_a$ . Это время, за которое анализатор сканирует заданный диапазон частот спектра – *полосу анализа*  $\Delta f_a$ . Этим же напряжением производят горизонтальное отклонение луча осциллографического индикатора. Гетеродин преобразователя является генератором качающейся частоты (ГКЧ) с постоянной амплитудой и меняющейся по линейному закону частотой  $f_{\Gamma}(t) = f_{\Gamma 0} + \Delta f_a \frac{u_{\text{упр}}(t)}{U_{\text{упр max}}}$ .

Предположим, что на вход анализатора подана одна гармоника с частотой сигнала  $f_c$ . Тогда на выходе смесителя возникают колебания с комбинационными частотами, в том числе с разностной частотой  $f_c - f_{\Gamma}(t)$ .

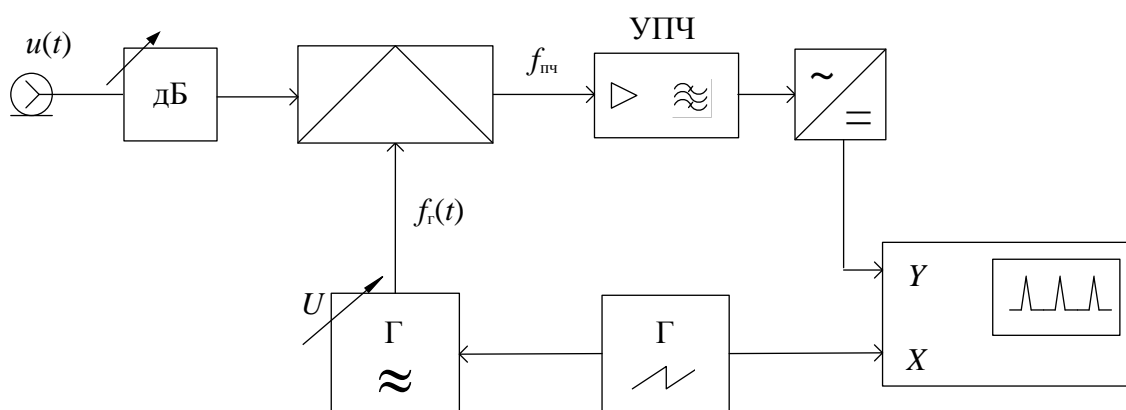


Рис. 3.1. Структурная схема анализатора спектра последовательного типа

Этот сигнал подают на вход узкополосного усилителя промежуточной частоты (УПЧ) (радиофильтра), настроенного на фиксированную частоту  $f_{\text{пч}}$ . При постоянной амплитуде гетеродина на входе УПЧ присутствует гармонический сигнал с амплитудой, пропорциональной уровню входной гармоники. Закон изменения частоты сигнала от времени показан на графике рис. 3.2, где для наглядности ось времени повернута вниз. В момент  $t_0$ , когда выполняется условие  $f_c - f_{\Gamma}(t_0) = f_{\text{пч}}$ , на выходе УПЧ появляется радиоимпульс, огибающая которого

повторяет форму АЧХ фильтра УПЧ. На выходе фильтра ставят детектор, постоянную времени которого задают полосой пропускания видеофильтра. Результат детектирования – напряжение, повторяющее огибающую АЧХ радиофильтра (видеоимпульс). Этот импульс подают на канал  $Y$  осциллографического индикатора или на вход АЦП цифрового индикатора прибора. Он формирует отклик анализатора спектра на гармонику входного сигнала.

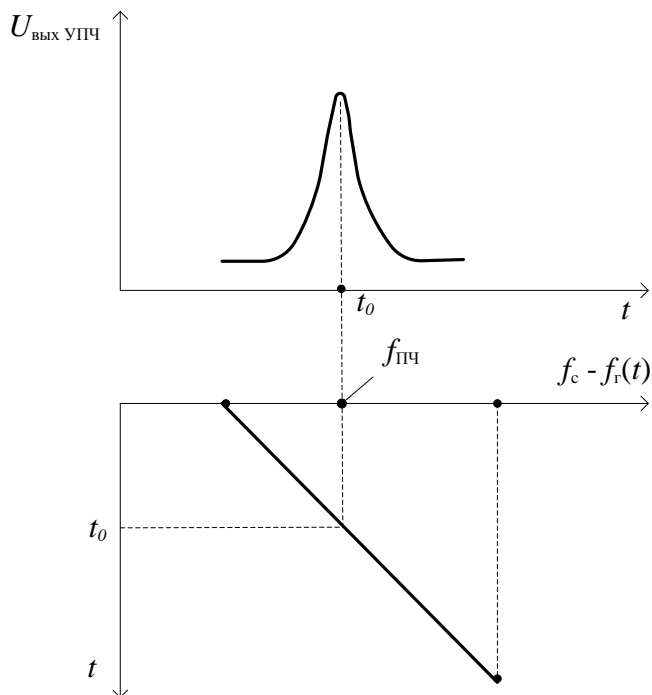


Рис. 3.2. Иллюстрация действия последовательного анализатора спектра

При наличии нескольких гармоник процесс образования откликов происходит аналогично, но в разные моменты времени. Соответственно, изображения откликов появляются в разных точках оси  $X$ , формируя *спектрограмму*. Значения откликов пропорциональны амплитудам входных гармоник, их расположение на оси  $X$  соответствует их частотам.

Перечислим основные параметры последовательных спектроанализаторов:

1. *Рабочий диапазон частот* – это область частот, в которой работает данный прибор. Рабочий диапазон может быть разбит на поддиапазоны.

2. *Полоса анализа (полоса обзора)* – это диапазон частот, в котором производится обзор спектра сигнала за один ход развертки. Может устанавливаться от максимально возможной до нулевой. В последнем случае спектроанализатор превращается в измерительный приемник с ручной перестройкой частоты.

3. *Время анализа  $T_a$*  – это время обзора полосы анализа. Задается длительностью прямого хода напряжения развертки и регулируется в широких пределах. Часто предусматривают ручной режим перестройки по частоте, его используют при узких полосах УПЧ.

4. *Разрешающая способность* – минимальная разность частот двух спектральных составляющих, при которых они фиксируются отдельно и могут быть измерены. Количественно задается разностью частот двух гармонических составляющих  $f_1$  и  $f_2$ , которые на экране создают спектрограмму откликов (рис. 3.3).

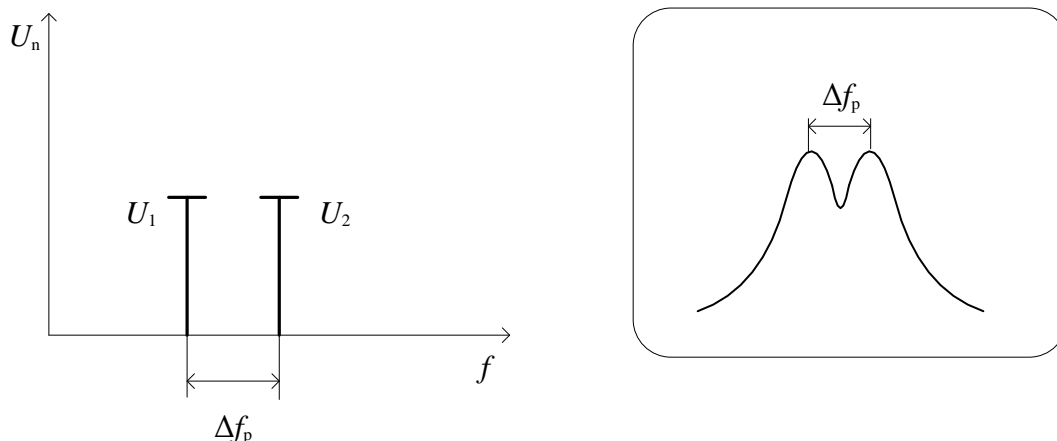


Рис. 3.3. Определение разрешающей способности анализатора спектра

Провал между откликами гармоник  $f_1$  и  $f_2$  составляет половину их высоты (–6 дБ) при условии, что амплитуды откликов одинаковы. Иногда используют уровень провала 0,707 (–3 дБ). Отметим, что разрешающая способность напрямую не определяет точность измерения амплитуд и частот гармоник. Она характеризует возможность визуально разделить отклики отдельных спектральных составляющих.

Различают *статическую* и *динамическую* разрешающие способности. Статическая определяется шириной полосы пропускания УПЧ  $\Delta f_{\text{УПЧ}}$ . Для типовой формы АЧХ УПЧ часто используют эмпирическую формулу

$$\Delta f_p \cong \sqrt{3} \Delta f_{\text{УПЧ}}$$

Динамическая разрешающая способность определяется степенью расширения отклика спектроанализатора из-за динамических искажений в фильтре УПЧ. Она всегда больше, чем статическая. Их разница обратно пропорциональна полосе пропускания УПЧ и прямо пропорциональна скорости изменения частоты гетеродина. Поэтому при заданной полосе анализа для улучшения разрешающей способности используют большое время анализа. В противном случае используют компромиссный подход – увеличивают полосу пропускания УПЧ и снижают динамические искажения, но тем самым ухудшая статическую разрешающую способность.

5. *Чувствительность АС* – это минимальный уровень гармонического сигнала, амплитуду которого можно измерить анализатором спектра с заданной точностью. Она ограничена, как правило, внутренними шумами прибора. Количественно чувствительность задают минимальным значением гармонического сиг-

нала, при котором его отклик превышает уровень шумов на экране прибора в заданное число раз (*пороговая чувствительность*). В данной работе чувствительность определяется по отношению сигнал/шум 20 дБ (10 раз по напряжению). Обычно мощность собственных шумов  $P_{\text{ш}}$  задают в пересчете к входу прибора. Она может быть определена через коэффициент шума  $N$  приемного тракта АС, абсолютную температуру  $T$  и полосу пропускания фильтра УПЧ  $\Delta f_{\text{УПЧ}}$ :

$$P_{\text{ш}} = (N - 1)kT\Delta f_{\text{УПЧ}},$$

где  $k$  – постоянная Больцмана. Таким образом, пороговая чувствительность изменяется при переключении полосы пропускания фильтра УПЧ.

6. *Максимальный уровень входного сигнала* определяется уровнем допустимых искажений при воздействии сигнала на входные активные элементы прибора. При перегрузках в спектрограмме появляются дополнительные паразитные составляющие, а амплитуды существующих откликов могут измениться. Степень нелинейности анализатора оценивают уровнем паразитных гармоник. Так, при подаче на вход одной гармоники большого уровня на спектрограмме появляются сигналы второй и третьей гармоник, которые реально на входе прибора отсутствуют. При возрастании уровня входного сигнала на  $\Delta L_1$ , дБ, уровень  $n$ -ной гармоники увеличивается на  $n\Delta L_1$ . Это вытекает из полиномиальной аппроксимации слабой нелинейности спектроанализатора. Нелинейные искажения оценивают по соотношению уровней второй и первой (реже – третьей и первой) гармоник. Задавая допустимый уровень паразитных гармоник, определяют максимально допустимый уровень входного сигнала АС. Часто используют обобщенный параметр нелинейности анализатора *точку пересечения со второй гармоникой* (SH1). Это уровень входного сигнала, при котором уровень второй гармоники достиг бы уровня основной гармоники (рис. 3.4).

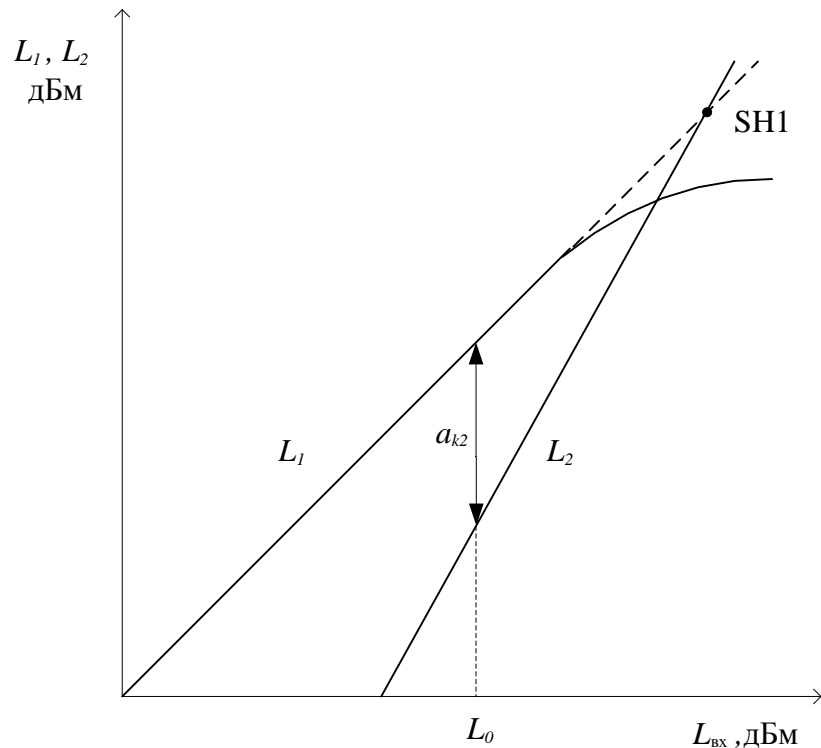


Рис. 3.4. Определение точки пересечения со второй гармоникой

На практике эта точка не достигается, так как входные цепи анализатора уже при меньшем сигнале переходят в режим насыщения. Чем больше этот параметр, тем меньше нелинейности АС. Современные спектроанализаторы имеют точку пересечения со второй гармоникой порядка нескольких десятков дБм.

7. *Динамический диапазон* – это отношение максимального и минимального уровней гармоник, при котором искажения спектра пренебрежимо малы. Не следует путать это понятие с диапазоном измеряемых амплитуд сигнала, который с использованием входного аттенюатора может быть шире, чем динамический диапазон. Динамический диапазон определяется нелинейностью входных блоков спектроанализатора (смесителя, усилителя и пр.) и уровнем собственных шумов.

8. *Амплитудно-частотная характеристика АС* – это зависимость уровня отклика гармоники постоянной амплитуды от ее частоты в пределах полосы обзора. Неравномерность АЧХ определяет систематические погрешности при измерении спектров в широком диапазоне частот.

9. *Метрологические параметры* – это погрешности измерения уровня гармоник  $dU$  и погрешность измерения частоты гармоники  $df$ . Погрешность измерения амплитуды включает погрешность калибровки АС, неравномерность собственной АЧХ, погрешность входного калиброванного аттенюатора и пр. Погрешность измерения частоты гармоники методом стоп-метки определяется точностью совмещения метки с выбранной точкой спектрограммы, погрешностью встроенного частотомера.



*Основные области применения анализаторов спектра:*

*измерение амплитуд и частот линейных спектров.* Современные спектроанализаторы имеют погрешность измерения амплитуды 0,5...1 дБ, погрешность измерения частоты  $10^{-3} \dots 10^{-6}$  (в зависимости от метода). Практически они заменяют ВЧ-вольтметры и во многих случаях – частотомеры ВЧ- и СВЧ-диапазонов;

*измерение параметров модуляции.* Коэффициент амплитудной модуляции определяют с помощью АС по амплитудам боковых составляющих. Для частотной модуляции при малых индексах девиацию частоты оценивают по уровню первых боковых составляющих;

*измерение шумовых спектров.* Для измерения спектров шумовых (случайных) сигналов используется детектор среднеквадратических значений и режим усреднения откликов спектроанализатора на входной сигнал. Для усреднения используют увеличение постоянной времени детектора (переключают полосу пропускания видеофильтра детектора). На экране при этом наблюдают сглаженную огибающую спектральной плотности мощности шума;

*измерение спектров квазисинусоидальных сигналов.* Для генераторов с высокой стабильностью частоты (синтезаторов частоты и пр.) искажение формы сигнала связано обычно со случайной флуктуацией фазы (остаточный ФМ-шум). Измерить ФМ-шум обычными средствами затруднительно. Однако уровень шума можно оценить по виду спектральной плотности. Он измеряется по отношению к сигналу несущей;

*измерение нелинейных и интермодуляционных искажений.* Такие искажения оцениваются коэффициентом гармоник и коэффициентом интермодуляционных искажений. Определяют амплитуды спектра искаженного сигнала при подаче на вход в первом случае одного синусоидального колебания, во втором – двух колебаний разных частот;

*исследование паразитных модуляций радиоимпульсов* проводят по виду их спектра. Контролируют наличие и уровень паразитной частотной модуляции (ЧМ), выявляют пропуск импульсов, появление ложных сигналов, флуктуации длительности импульсов и пр.

### **Технические характеристики спектроанализатора GSP-827**

В лабораторной работе исследуется ВЧ-спектроанализатор с диапазоном частот от 10 кГц до 2.7 ГГц. Прибор имеет малые габариты, массу около 4.5 кг, работает как от сети, так и от батарей. В приборе использован цифровой индикатор с жидкокристаллическим экраном и разрешением 640×480 точек. Сохранение

данных и дистанционное управление прибором возможно с компьютера по интерфейсам RS-232 или GPIB (КОП).

*Основные параметры анализатора спектра GSP-827:*

диапазон рабочих частот от 9 кГц до 2.7 ГГц;

полоса обзора, регулируемая в пределах от 2 кГц до 2.7 ГГц;

сигнал калибратора (опорный источник частоты) – 10 МГц  $\pm$  0.001 %;

полоса пропускания УПЧ (радиофильтр) 3, 30, 300, 4000 кГц;

входное сопротивление 50 Ом, разъем N-типа;

диапазон уровня входного сигнала минус 100...+20 дБм;

максимальный уровень входного сигнала 30дБм;

спектральная плотность собственных шумов минус 130 дБм/Гц;

неравномерность собственной АЧХ  $\pm$ 1.5 дБ;

время анализа, регулируемое в пределах от 100 мс до 25.6 с;

полоса видеофильтра, регулируемая в пределах от 10 Гц до 1 МГц.

Прибор имеет низкий уровень собственных фазовых шумов. Уровень вносимых гармонических искажений не более минус 60 дБ при входном уровне, не превышающем минус 40 дБм.

Прибор обеспечивает дополнительные функциональные возможности:

измерение мощности сигнала в канале связи и соотношения мощностей в смежных каналах, измерение пропускной способности канала связи;

разделение окна для одновременного измерения при двух различных полосах обзора;

обработку спектрограмм (поиск пикового значения; накопление; замораживание изображения и пр.);

маркерные измерения (до 10 маркеров);

анализ спектра по шаблону: задание верхней/нижней границы с индикацией «Годеи – Не годеи»;

запись результатов и профилей установок в энергонезависимую память;

разнообразные виды запуска;

таймер реального времени.

Лабораторный макет состоит из исследуемого анализатора спектра GSP-827, функционального цифрового генератора сигналов Tektronix AFG 3021B и фиксированного аттенюатора 60 дБ.

## Задание и указания к выполнению лабораторной работы

### Измерение амплитудного спектра сигнала калибратора

Соедините кабелем ВЧ-вход анализатора с разъемом опорного сигнала AC 10 MHz на задней панели прибора. Генератор сигналов в этом пункте не используется. Если на входе анализатора установлены фиксированные аттенюаторы, их необходимо убрать.

Включите анализатор длительным нажатием кнопки СЕТЬ. Установите следующие параметры спектроанализатора: начальная частота (START) – 0 МГц, конечная (STOP) – 100 МГц, полоса пропускания фильтра УПЧ (RBW) – 30 кГц, полоса видеофильтра (VBW) – 300 кГц, отсчетный уровень спектрограммы (RefLevel) – +10 дБм, шкала спектрограммы (Unit) в логарифмических единицах мощности относительно 1 мВт (dBm), цена деления (Scale) – 10 dBm.

На индикаторе должно появиться изображение амплитудного спектра сигнала калибратора в полосе обзора 100 МГц. Зарисуйте вид спектра. По калиброванной шкале уровня сигнала оцените значения его гармонических составляющих. Результаты занесите в таблицу по форме табл. 3.1.

С помощью маркера (электронной метки) проведите точное измерение мощностей и частот гармоник. Для этого используйте разделение экрана на два окна (Экран – Split ON) и узкий диапазон обзора во втором окне. Сделав активным нижнее окно (Lower ON), установите в нем полосу обзора (SPAN) – 2 МГц, центральную частоту (CENTER), равную частоте первой гармоники спектра 10 МГц. Включите одиночный маркер (Marker – ON, MM mode – OFF, режим маркера – Normal). На экране появится маркер, обозначенный точкой в кружочке. Переведите его на пик спектра (Поиск Пика – To Peak). При необходимости подстройте положение маркера на максимум отклика колесом прокрутки. Запишите частоту гармоники и уровень мощности [дБм] в таблицу по форме табл. 3.1. Измерьте уровень напряжения гармоники в логарифмическом виде относительно 1 мВ на нагрузке 50 Ом (режим Уровень – Unit – dBmV). Для расчета абсолютного значения напряжения гармоники используйте формулу:

$$U[\text{mV}] = 10^{\frac{U[\text{dBmV}]}{20}}.$$

Повторите измерения для гармоник 2–10, результаты занесите в таблицу по форме табл. 3.1.

Таблица 3.1

#### Измеренные уровни гармоник сигнала калибратора

Параметр	Номер гармоники $n$					
	1	2	3	4	...	10

Оценка уровня гармоник, дБм						
Частота гармоник, МГц						
Мощность гармоник $P_n$ , дБм						
Относительное напряжение гармоник $u_n$ , дБмВ						
Напряжение гармоник $u_n$ , мВ						

Постройте спектрограмму сигнала калибратора в логарифмическом (для мощности) и линейном (для напряжения) масштабах. По формуле

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}$$

рассчитайте коэффициент гармоник сигнала калибратора.

### ***Измерение разрешающей способности анализатора спектра***

При измерении разрешающей способности АС используется первая гармоника сигнала калибратора (10 МГц) и сигнал, вырабатываемый генератором гармонического ВЧ-сигнала с плавной перестройкой.

С помощью коаксиального тройника подайте на вход спектроанализатора сигнал калибратора и сигнал генератора (без внешнего аттенюатора). Отключите двухэкранный режим (Экран – Split Off). Установите центральную частоту анализа (CENTER) – 10 МГц, полосу обзора (SPAN) – 2 МГц, отсчетный уровень (RefLevel) – 10 dBm, цена деления шкалы (Scale) – 5 dBm. Включите широкую полосу пропускания радиофильтра RBW – 300 кГц, полосу видеофильтра VBW – 1 кГц. На экране появится отклик первой гармоники калибратора.

Включите генератор ВЧ-сигнала, установите режим синусоидального сигнала и подайте сигнал на выход (кнопка ON) генератора. На генераторе ВЧ установите частоту 10 МГц и ее подстройкой добейтесь появления на экране второго отклика. Регулировкой амплитуды сигнала генератора уравнивайте уровни откликов. Плавно меняя частоту генератора, добейтесь перекрытия откликов, соответствующего рис. 3.3. Провал от вершины откликов до точки пересечения в логарифмическом масштабе должен составлять 6 дБм, что соответствует уровню 0,5 в линейном масштабе. Для точной установки значения провала можно использовать цену деления шкалы прибора (Scale) 2 dBm.

Измерьте частоты откликов сигналов калибратора  $f_1$  и генератора  $f_2$  с помощью маркеров анализатора спектра и занесите в таблицу по форме табл. 3.2. Для этого установите маркер на максимум спектрограммы. Маркер обозначен темной точкой в кружочке (Маркер – ON, MM mode – Off, режим – Normal, клавиша Поиск Пика). Колесом прокрутки поочередно поместите маркер на вершины первого и второго откликов и запишите значение разности частот в таблицу по форме табл. 3.2. Это будет разрешающая способность АС  $\Delta f_p$  при данной по-

лосе пропускания УПЧ. Для установки маркера на вершину откликов можно использовать режим поиска пика – To Peak, Peak Right, Peak Left.

Таблица 3.2

**Измеренная разрешающая способность анализатора спектра**

Полоса УПЧ $\Delta f_{\phi}$ , кГц	Полоса обзора	$\Delta f_p =  f_2 - f_1 $ , кГц
300	2 МГц	
30	200 кГц	
3	50 кГц	

Повторите измерения для полос пропускания 30 и 3 кГц при полосах обзора, указанных в таблице по форме табл. 3.2. При больших полосах обзора удобно использовать разностный режим (пункт меню Marker –  $\Delta Mkr$ ). В этом режиме на экране появятся второй референсный маркер R, расположенный в точке одиночного маркера, и рабочий маркер  $\Delta$ . Перемещая рабочий маркер колесом прокрутки, совместите его со вторым откликом. Сдвиги уровня и частоты относительно маркера R выводятся в верхней части экрана.

Результаты измерений занесите в таблицу по форме табл. 3.2. Постройте график зависимости  $\Delta f_p$  от ширины полосы пропускания фильтра УПЧ.

**Измерение чувствительности анализатора спектра**

В данной работе чувствительность определяется для трех полос пропускания (RBW) – 30, 3 и 300 кГц. Измеряется чувствительность по входному сигналу, уровень отклика которого на 20 дБ превышает уровень собственных шумов АС.

Через фиксированный аттенюатор 60 дБ (ослабление в 1000 раз) подайте на вход спектроанализатора гармонический сигнал с частотой 15 МГц от генератора ВЧ. Установите центральную частоту анализатора 15 МГц, полосу обзора – 5 МГц, полосу RBW – 30 кГц, полосу видеофильтра VBW – 300 Гц, отсчетный уровень RefLevel – минус 60 дБм. На экране появится отклик входного сигнала и изображение собственных шумов спектроанализатора.

Проведите измерение пороговой чувствительности следующим образом. Меняя уровень сигнала генератора, добейтесь, чтобы его отклик на спектрограмме превышал бы уровень шума на 20 дБ. Запишите среднеквадратическое значение напряжения входного сигнала генератора (с учетом его ослабления в аттенюаторе в 1000 раз) и среднее значение собственных шумов анализатора, дБм. Занесите результат в таблицу по форме табл. 3.3.

Таблица 3.3

**Измеренная чувствительность анализатора спектра**

Полоса УПЧ $\Delta f_{\phi}$ , кГц	Полоса обзора, МГц	Уровень шума, дБм	Уровень сигнала генератора, мВ
300	5		

30	1		
3	0.1		

Проведите аналогичные измерения для полос пропускания 3 и 300 кГц. Используйте полосы обзора, указанные в таблице по форме табл. 3.3. Постройте график зависимости пороговой чувствительности АС от полосы пропускания УПЧ.

### ***Измерение нелинейности анализатора спектра (выполняется по указанию преподавателя)***

Нелинейность входных активных блоков спектроанализатора приводит к появлению паразитных откликов на спектрограмме. В данной работе исследуется зависимость уровня второй (паразитной) гармоники от уровня первой в диапазоне мощности сигнала 10...24 дБм и определяется SH1 – точка пересечения со второй гармоникой.

Подайте на вход гармонический сигнал от генератора (аттенюаторы на входе АС надо отключить). Установите частоту сигнала 2 МГц, уровень отклика сигнала генератора  $L_{\text{вх}} = 10$  дБм. Настройте анализатор для исследования спектра в полосе от 1 до 7 МГц. Установите полосу пропускания УПЧ (RBW) – 3 кГц, полосу видеофильтра (VBW) – 1 кГц, отсчетный уровень RefLevel – 20 dBm. На экране должен появиться отклик сигнала генератора.

Увеличивая уровень входного сигнала  $L_{\text{вх}}$ , наблюдайте появление паразитной второй и третьей гармоник на спектрограмме. При максимальном сигнале генератора зарисуйте вид спектрограммы.

Проведите измерение зависимости уровня второй гармоники от уровня первой. Для этого перейдите в двухэкранный режим (см. 3.4.1) и получите в центре активного экрана отклик второй гармоники с частотой 4 МГц в полосе обзора 1 МГц. Уменьшая значение сигнала генератора  $L_{\text{вх}}$  от максимального значения с шагом 1 дБм, определите уровень второй гармоники  $L_2$  (используйте одиночный маркер и кнопку Поиск Пика). Измерение можно закончить, когда уровень второй гармоники станет меньше минус 50 дБм и ее отклик станет незаметен на фоне собственных шумов прибора. Результат измерения сведите в таблицу форме табл. 3.4, по данным которой постройте график зависимости  $L_2(L_{\text{вх}})$ . Аппроксимируйте данную зависимость прямой линией. На этом же графике нанесите зависимость  $L_1(L_{\text{вх}})$  – это прямая линия под углом  $45^\circ$  (см. рис. 3.4).

*Таблица 3.4*

#### **Измеренный уровень второй гармоники**

Уровень сигнала генератора $L_{\text{вх}}$ , дБм	Уровень второй гармоники, $L_2$ , дБм

Проведите аналогичные измерения для полос пропускания 3 и 300 кГц.

Определите точку пересечения SH1 следующим способом. Выберите уровень входного сигнала  $L_0$  в центре измеренной зависимости  $L_2(L_{вх})$  и определите разницу (в дБм) между графиками второй гармоники  $L_2(L_0)$  и первой  $L_1(L_0)$ . Эту разницу называют коэффициентом подавления 2-й гармоники (harmonic suppression)  $a_{k2}$ . Тогда точка пересечения SH1 найдется как сумма входного уровня и коэффициента подавления, дБм:

$$SH1 = L_0 + a_{k2} = 2L_0 - L_2(L_0).$$

Рассчитайте значение точки пересечения второй гармоники. Чем выше это значение, тем лучше линейность спектроанализатора.

*Отчет по лабораторной работе* должен содержать структурную схему анализатора, результаты измерений, краткие выводы.