

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
2008

В работе изучаются устройство и принцип действия цифрового анализатора спектра (АС) последовательного типа GSP-827. Исследуются спектральные параметры сигнала калибратора прибора, измеряются пороговая чувствительность и разрешающая способность АС.

1. Краткие сведения об анализаторах спектра

Напомним, какие существуют спектральные характеристики радиосигнала. Для сигнала $u(t)$ вводят *спектральную функцию* (или *спектральную плотность*), определяемую прямым преобразованием Фурье

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

Эта функция комплексная, имеет размерность В/Гц и представляет распределение амплитуд и фаз гармонических составляющих по частотной оси. Спектральная функция существует при абсолютной интегрируемости функции 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*

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

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 спектральная функция представляет собой последовательность дельта-функций, смещенных друг относительно друга на частоту повторения сигнала. Для этого случая обычно используют спектральное представление сигнала в виде *ряда Фурье*:

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

где T – период повторения сигнала ($u(t \pm kT) = u(t)$, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$).

Ряд представляет собой совокупность гармонических колебаний с кратными частотами. Амплитуды U_n и начальные фазы φ_n гармоник представляют собой амплитудный и фазовый спектры периодических сигналов. Как правило, практический интерес представляет измерение амплитудного спектра. Гармоника с нулевой частотой U_0 является постоянной составляющей сигнала – ее измеряют вольтметрами постоянного тока.

Особый класс сигналов, который исследуется в спектральном представлении – это шумовые и случайные сигналы. Важной характеристикой шумового сигнала является его *спектральная плотность мощности*:

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

Здесь $S(\omega, T)$ – спектральная плотность реализации случайного процесса на интервале $[-T/2, T/2]$. Размерность спектральной плотности мощности $[B^2 \cdot c]$ 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 СВЧ. Это измерение амплитуд и частот гармонических составляющих периодических сигналов, измерение амплитудной спектральной функции непериодических сигналов и спектральной плотности мощности случайных сигналов. Эта задача решается *анализатором спектра*.

Различают АС параллельного и последовательного типов. Наиболее распространены АС последовательного типа, позволяющие исследовать периодические сигналы в широком диапазоне частот. Принцип действия таких приборов аналогичен принципу действия супергетеродинного радиоприемника. При плавной перестройке частоты гетеродина f_r АС последовательно настраивается на различные частоты спектра, входного сигнала, определяемые из условия

$$f_c(t) = f_r(t) - f_{пр} ,$$

где $f_{пр}$ - фиксированная промежуточная частота, на которую настроен фильтр усилителя промежуточной частоты (УПЧ). Выделенный фильтром и усиленный сигнал детектируется. Уровень сигнала на выходе детектора соответствует амплитуде спектральной составляющей с частотой f_c .

Если сигнал с детектора подать на канал вертикального отклонения осциллографического индикатора и обеспечить жесткую связь между изменяющейся частотой гетеродина и положением луча на горизонтальной оси, то на экране получится изображение амплитудного спектра сигнала в виде отдельных импульсов - откликов конечной длительности. Такой принцип индикации результатов анализа называют *панорамным*. Высота откликов соответствует амплитудам гармоник, а положение на горизонтальной оси - их частотам. Частотный диапазон наблюдения спектра (полоса обзора) определяется пределами изменения частоты гетеродина и может регулироваться, позволяя тем самым устанавливать необходимый масштаб по оси частот.

2. Структурная схема последовательного анализатора спектра

Стандартные анализаторы спектра радиосигналов строятся преимущественно по принципу последовательного анализа спектра узкополосным фильтром. Фактически такой прибор является узкополосным селективным приемником (вольтметром) с супергетеродинным принципом перестройки по частоте. Упрощенная структурная схема прибора с последовательным методом анализа представлена на рис. 1.

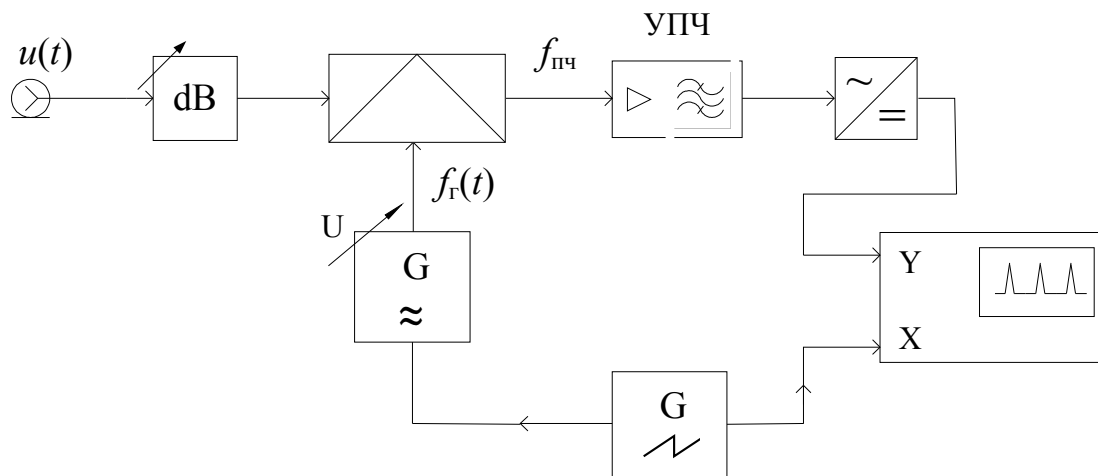


Рис. 1. Структурная схема анализатора спектра последовательного типа

Управление перестройкой частоты гетеродина производится генератором пилообразного напряжения $u_{\text{упр}}(t)$. Он задает *время анализа* T_a , то есть время, за которое анализатор сканирует заданный диапазон частот спектра (*полосу анализа* Δf_a). Этим же напряжением производят горизонтальное отклонение луча осциллографического индикатора. Гетеродин является генератором качающейся частоты (ГКЧ) с постоянной амплитудой и меняющейся по линейному закону частотой

$$f_c(t) = f_{c_n} + \Delta f_a \frac{u_{\text{упр}}(t)}{U_{\text{упр max}}}$$
. Сигнал с ГКЧ поступает на смеситель. Предположим, что на

вход анализатора подан синусоидальный сигнал с частотой f_c . Тогда на выходе смесителя возникают колебания с комбинационными частотами, в том числе с разностной частотой $f_c - f_c(t)$. Этот сигнал подают на вход узкополосного УПЧ, который и производит процедуру частотного анализа спектра. На выходе фильтра ставят измеритель уровня (квадратичный детектор). Результат измерения подают на отсчетное устройство. Как правило, используют панорамный принцип индикации результата. На входе УПЧ присутствует сигнал постоянной амплитуды с меняющейся во времени частотой. Закон изменения частоты от времени показан на

графике рис.2, где для наглядности ось времени повернута вниз.

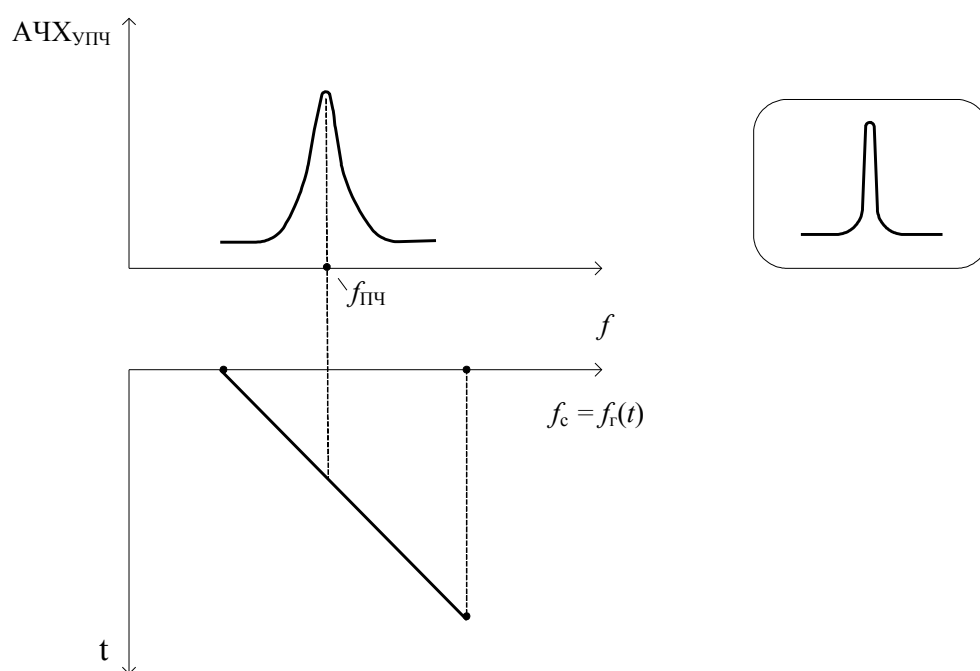


Рис. 2. Принцип действия последовательного анализатора спектра

В момент t_0 , когда выполняется $f_c - f_z(t_0) = f_{ПЧ}$, на выходе УПЧ появляется радиоимпульс, огибающая которого повторяет форму АЧХ фильтра УПЧ. Это напоминает ситуацию, когда измеряется АЧХ – на вход устройства подают ЛЧМ сигнал, на выходе огибающая дает информацию о виде АЧХ. Выходной радиоимпульс поступает на детектор, где выделяется напряжение, повторяющее его огибающую (видеоимпульс). Этот сигнал поступает на осциллографический индикатор и наблюдается на его экране.

При наличии в составе спектра сигнала нескольких гармоник, процесс образования видеоимпульса происходит аналогично, но в разные моменты времени. Тогда изображения этих импульсов - отклики спектроанализатора - появляются в разных точках оси X . Такое изображение на экране называется *спектрограммой*. Она образована откликами на каждую гармоническую составляющую входного сигнала. Величины откликов пропорциональны амплитудам входных гармоник, расположение откликов на оси X соответствует частотам гармонических составляющих входного сигнала.

Полученная спектрограмма напоминает часто используемое графическое изображение амплитудного спектра периодического сигнала в виде вертикальных линий, длина которых равна амплитуде соответствующих гармонических составляющих сигнала. Для улучшения характеристик в АС используют двойное и тройное преобразования частоты входного сигнала. При этом частоты дополнительных гетеродинов делают, как правило, фиксированными, частота же основного гетеродина при анализе спектра изменяется по линейному закону.

Перечислим **основные параметры последовательных спектроанализаторов**:

- *Рабочий диапазон* частот - это тот частотный диапазон, в котором работает данный прибор. Рабочий диапазон может быть разбит на поддиапазоны.
- *Полоса анализа* – это диапазон частот, в котором производится обзор спектра сигнала за один ход развертки. Может регулироваться от максимальной полосы до нуля. В последнем случае спектроанализатор превращается в измерительный приемник с ручной перестройкой частоты.
- *Время анализа* T_a - это время обзора рабочей полосы частот. Регулируется в широких пределах и для последовательных спектроанализаторов может достигать десятков секунд. Предусматривают и ручной режим перестройки по частоте – его используют при узких полосах УПЧ в режиме запоминания изображения.
- *Разрешающая способность* - минимальная разность частот двух спектральных составляющих, при которых они фиксируются отдельно и мо-

гут быть измерены. Количественно задается разностью частот двух гармонических составляющих, которые на экране создают спектрограмму откликов (рис.3)

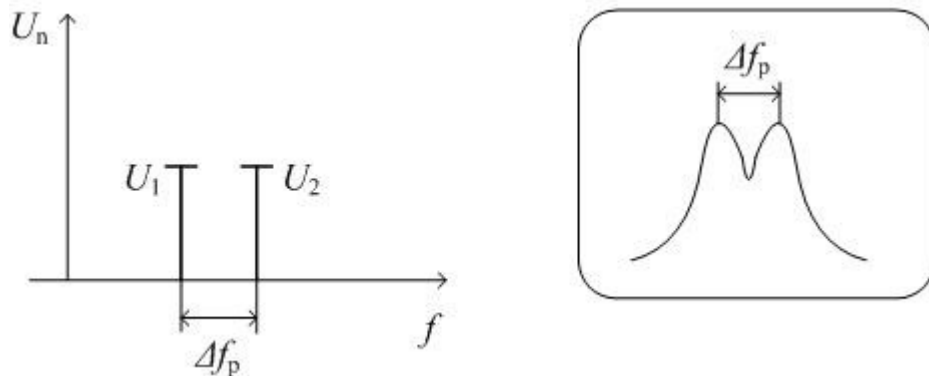


Рис. 3. Определение разрешающей способности анализатора спектра

При этом провал между откликами гармоник f_1 и f_2 составляет в линейном масштабе половину их высоты (- 6дБ) при условии, что амплитуды откликов одинаковы. Иногда используют уровень пересечения 0,707 (-3 дБ в логарифмическом масштабе). Тогда разрешающая способность АС

$$\Delta f_p = |f_2 - f_1|$$

Отметим, что разрешающая способность напрямую не определяет точность измерения амплитуд и частот гармоник – она показывает только возможность визуально различить отклики спектральных составляющих.

Различают статическую и динамическую разрешающие способности. Статическая определяется шириной полосы пропускания УПЧ. Для типовой формы АЧХ УПЧ, близкой к гауссовской, 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 и всегда больше, чем статическая. Она обратно пропорциональна полосе пропускания и прямо пропорциональна скорости измерения частоты гетеродина. Поэтому

при исследовании сигналов с близкими гармоническими составляющими используют большое время анализа при минимально возможной полосе пропускания УПЧ. В противном случае увеличивают полосу пропускания, ухудшая статическую разрешающую способность.

- *Чувствительность* - это минимальный уровень входного синусоидального сигнала, который может быть измерен на экране спектроанализатора с заданной точностью. Она ограничена, как правило, внутренними шумами прибора. Количественно она оценивается как минимальное значение синусоидального сигнала, при котором его отклик превышает уровень шумов на экране прибора в заданное число раз (*пороговая чувствительность*). Чувствительность зависит от уровня собственных шумов приемного тракта АС. Обычно мощность этих шумов $P_{ш}$ 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 Δf_{ϕ} :

$$P_{ш} = (N - 1)kT\Delta f_{\phi}$$

где k - постоянная Больцмана. Пороговая чувствительность изменяется при переключении полосы пропускания фильтра УПЧ. Для количественного выражения чувствительности необходимо заранее задать пороговое соотношение мощностей сигнала P_c и шума $P_{ш}$. В данной работе чувствительность определяется по сигналу, мощность которого на 20 дБ превышает мощность собственных шумов АС;

- *Максимальный уровень* входного сигнала определяется уровнем допустимых искажений исследуемого спектра при воздействии сигнала на входные активные блоки прибора. При перегрузках большим сигналом в спектрограмме могут появляться дополнительные паразитные составляющие, а амплитуды существующих могут измениться. В этом случае используют входной аттенюатор, уменьшающий сигнал. Степень нелинейности входных активных цепей анализатора оценивают уровнем паразитных гармоник при заданном входном сигнале. Так, при воздействии одной гармоникой большого уровня на спектрограмме появляются сигналы второй и третьей

гармоники, которые реально на входе прибора отсутствуют. При возрастании уровня входного сигнала на ΔL_1 дБ уровень n -ной гармоники увеличивается на $n \cdot \Delta L_1$. Это вытекает из полиномиальной аппроксимации слабой нелинейности спектроанализатора. При одночастотном воздействии обычно нелинейные искажения оценивают по соотношению уровней первой и второй (реже - третьей) гармоник. Это соотношение необходимо указывать при конкретном уровне максимального входного сигнала. Удобнее использовать обобщенный параметр нелинейности анализатора $SH1$ – *точку пересечения со второй гармоникой*. Это уровень фиктивного входного сигнала, при котором уровень второй гармоники достиг бы уровня основной гармоники (рис. 4).

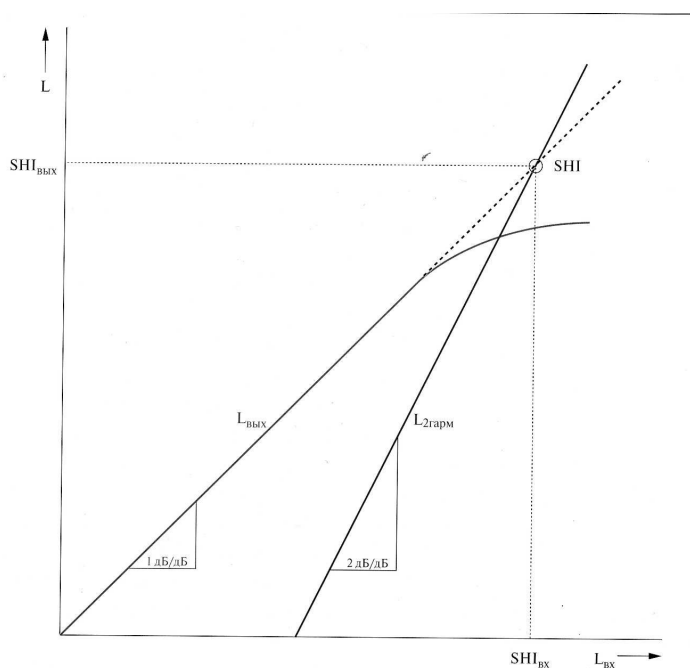


Рис. 4. Определение точки пересечения со второй гармоникой

На практике эта точка не достигается, так как входные цепи анализатора уже при меньшем сигнале переходят в режим насыщения. Современные спектроанализаторы имеют точку пересечения со второй гармоникой порядка нескольких десятков дБм. Более точно степень нелинейных искажений оценивают при двухчастотном воздействии. В дополнение к гармоникам сигналов частот f_1 , f_2 , на спектрограмме появятся интермодуляционные составляющие вида $2f_1 - f_2$, $2f_2 - f_1$. При малой разности частот сигналов эти составляющие располагаются вблизи спектра основного сигнала и его гармоник. Искажения такого типа более заметны, чем гармонические для одночастотного сигнала. Оцениваются они точкой пересечения составляющих второго и третьего порядка.

- *Динамический диапазон* - это соотношение максимального и минимального уровней гармоник, при котором искажения спектра пренебрежимо малы. Не следует путать это понятие с диапазоном измеряемых амплитуд сигнала, который при наличии входного аттенюатора может быть шире, чем динамический диапазон. Наличие в реальных сигналах больших и малых уровней гармоник предъявляет жесткие требования к динамическому диапазону. Как правило, он определяется нелинейностью входных блоков спектроанализатора (смесителя, усилителя и пр.). Современные спектроанализаторы имеют высокий динамический диапазон (90...130 дБ)
- *Амплитудно-частотная характеристика* - это зависимость измеренной амплитуды гармоники от ее частоты в пределах полосы обзора. Она определяет систематические погрешности при измерении спектров в широком диапазоне частот.
- *Метрологические параметры* - это погрешность измерения уровня гармоник δU и погрешность измерения частоты гармоники δf . Погрешность измерения амплитуды включает погрешность калибровки на фиксированной частоте и погрешность неравномерности собственной АЧХ, погрешность калиброванного аттенюатора и пр. Погрешность измерения частоты опре-

деляется точностью калибровки шкалы, 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 порядка 0,5-2 дБ, частоты – $10^{-3} \dots 10^{-6}$ (в зависимости от метода). Практически они заменяют ВЧ вольтметры и во многих случаях - частотомеры.
- *Измерение параметров модуляции.* Коэффициент амплитудной модуляции определяют по амплитудам боковых составляющих. Для частотной модуляции при малых индексах девиацию частоты оценивают также по уровню первых боковых составляющих. При больших индексах модуляции используют преобразователи ЧМ в АМ.
- *Измерение шумовых спектров и соотношения сигнал/шум.* Для измерения спектров шумовых (случайных) сигналов используется режим усреднения откликов спектроанализатора на входной сигнал и детектор среднеквадратических значений. Обычно для усреднения используют увеличение постоянной времени видеофильтра детектора. Именно для этой цели применяют переключаемую полосу пропускания видеофильтра. На экране при этом наблюдается огибающая 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 его обычными средствами затруднительно. Однако уровень шума можно оценить по виду спектральной плотности. Он измеряется в дБн/Гц по отношению к сигналу несущей.
- *Измерение нелинейных и интермодуляционных искажений.* Такие искажения оцениваются коэффициентом гармоник и коэффициентом

интермодуляционных искажений. Эти параметры характеризуют степень линейности радиоустройств. На ВЧ и СВЧ их измеряют спектроанализатором. Определяют амплитуды спектра искаженного сигнала при подаче на вход в первом случае одного синусоидального колебания, во втором – двух колебаний разных частот. В последнем случае амплитуды комбинационных составляющих характеризуют степень вносимых интермодуляционных искажений.

- *Исследование паразитных модуляций радиоимпульсов* проводят по виду их спектра. Можно контролировать наличие и уровень паразитной ЧМ, выявить пропуск импульсов, появление ложных сигналов, флуктуации длительности импульсов и пр.

3. Технические характеристики спектроанализатора GSP -827

Анализатор обеспечивает работу в диапазоне частот до 2,7 ГГц. На задней панели прибора есть вход для внешнего опорного источника частоты с различными номинальными значениями, в том числе и с общепринятыми в связи частотами 1 МГц, 2,048 МГц, 5 и 10 МГц. Такая возможность позволяет уменьшить погрешность измерения частоты на два и более порядка. Отличительной чертой анализатора спектра является баланс между габаритами и автономностью работы с одной стороны и высокими функциональными возможностями с другой. Прибор имеет малые габариты, массу около 4,5 кг, работает как от сети, так и от батарей (рис.5).



Рис. 5. Анализатор спектра GSP -827

В приборе использован высококонтрастный ЖКИ с разрешением 640X480. Сохранение данных и дистанционное управление прибором возможно с компьютера по интерфейсам RS-232 или GPIB (КОП).

Основные параметры анализатора спектра GSP-827 приведены в таблице 1.

Таблица 1

| Наименование параметра | Значение | Погрешность |
|--|-------------------------------------|---|
| Диапазон частот | 9 кГц - 2,7 ГГц | Определяется опорным источником частоты |
| Полоса обзора | 0 Гц, 2 кГц - 2,5 ГГц | Определяется опорным источником частоты |
| Опорный источник частоты | 10 МГц | 0,001% |
| Полоса пропускания | 3 кГц, 30 кГц, 300 кГц, 4 МГц | ±15% |
| Входное сопротивление | 50 Ом | КСВН не более 1,5 |
| Диапазон входных уровней сигнала | -100...+20 дБмВт | Неравномерность АЧХ: ±1,5 дБ Линейность шкалы: ±1,5 дБ |
| Спектральная плотность шумов | -130 дБмВт/Гц | |
| Интермодуляционные и негармонические искажения | Менее (-60 дБ) относительно несущей | |

Вход ВЧ имеет разъем N-типа; 50 Ом; КСВН < 1,5 при относительном опорном уровне 0 дБм. Максимальный уровень входного сигнала +30 дБм, постоянное напряжение не более 25 В. Относительный опорный уровень может быть установлен в пределах -30...20 дБм.

Анализатор GSP-827 способен проводить сканирование полосы обзора за 100 мс, что снижает вероятность ошибок при исследовании непериодических меняющихся сигналов. Время анализа регулируется в пределах 100 мс...25,6 с. Полоса пропускания УПЧ – от 3 кГц до 4 МГц (меняется дискретно). Полоса видеофильтра регулируется в пределах 10 Гц...1 МГц.

Прибор имеет низкий уровень собственных фазовых шумов. Плотность фазовых шумов составляет -85 дБс/Гц на частоте 1 ГГц при отстройке от несущей на 20 кГц. Уровень вносимых гармонических искажений < -60 дБ при входном уровне не превышающем – 40 дБм и интермодуляционных искажений 3-го порядка < -70 дБ при входном уровне –40 дБм.

Прибор обеспечивает дополнительные функциональные возможности:

- Измерение мощности в канале 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; математическую обработку);
- Маркерные измерения (до 10 маркеров);
- Анализ по шаблону: задание верхней/нижней границы с индикацией «Годен – Негоден»;
- Запись результатов и профилей установок в энергонезависимую память (до 100 спектрограмм и профилей);
- Разнообразные виды запуска;
- Таймер реального времени.

4. Задание и указания к выполнению лабораторной работы

1. Измерение амплитудного спектра сигнала калибратора

Соедините кабелем ВЧ вход анализатора с разъемом опорного сигнала АС 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 dBm, 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 величины его гармонических составляющих. Результаты занесите в таблицу по форме 1.

С помощью маркера (электронной метки) проведите точное измерение мощностей и частот гармоник. Для этого используйте узкий диапазон обзора и деление экрана на два окна (Экран – Split ON). При этом на индикаторе создается второе окно с независимым диапазоном обзора. 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 один маркер, обозначенный точкой в кружочке. Переведите его на пик спектра (Поиск Пика -To Peak). При необходимости подстройте положение маркера на максимум отклика колесом прокрутки. Частота и уровень спектра в точке расположения маркера выведены в правой части экрана. Запишите частоту гармоники и уровень мощности в дБм и занесите полученные результаты в таблицу 1. Получите также уровень напряжения гармоники. Он выводится на ин-

дикатор в логарифмическом виде относительно 1 мВ на нагрузке 50 Ом (режим Уровень - Unit - dBmV). Для расчета абсолютного значения напряжения гармоник используйте формулу

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

Повторите измерения для гармоник 2...10, результаты занесите в табл. 1.

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.

2. Измерение разрешающей способности анализатора спектра

При измерении разрешающей способности АС используется первая гармоника сигнала калибратора (частота которой фиксирована (10 МГц)) и сигнал, вырабатываемый генератором гармонического ВЧ сигнала с плавной перестройкой. С помощью коаксиального тройника подключите на вход спектроанализатора сумму сигнала опорной частоты и сигнала 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 RBW=300 кГц, полосе видеофильтра VBW=1 кГц. На экране появится отклик первой гармоники калибратора.

Включите генератор ВЧ, установите режим синусоидального сигнала. и подайте сигнал на его выход (кнопка ON). На генераторе ВЧ установите частоту около 10 МГц и подстройкой частоты добейтесь появления на экране второго отклика. Регулировкой амплитуды сигнала генератора уравнивайте амплитуды откликов. Плавно меняя частоту генератора, добейтесь перекрытия откликов, соответствующего рис. 2. Провал от вершины откликов до точки пересечения в логариф-

мическом масштабе должен составлять 6 дБм, что соответствует 50% амплитуды откликов в линейном масштабе. Для точной установки величины провала можно использовать цену деления (Scale) 2 дБм.

Измерьте частоты сигналов калибратора f_1 и генератора f_2 с помощью маркеров анализатора спектра и занесите в таблицу по форме 2. Для этого установите маркер на отклик спектрограммы 10 МГц (клавиша Поиск пика). Маркер обозначен темной точкой в круге. (Маркер – ON, MM mode Off, режим –Normal). Значение уровня и частоты в точке его расположения выводится сверху экрана. Колесом прокрутки поочередно поместите маркер на вершины первого и второго отклика и запишите значение разности частот. Это и будет разрешающая способность АС Δf_p при данной полосе пропускания УПЧ. Для установки маркера на вершину отклика можно использовать режим поиска пика спектрограммы – ToPeak, Peak Right, Peak Left. При больших полосах пропускания УПЧ удобно использовать разностный режим (пункт меню Marker- Δ Mkr). В этом режиме на экране появятся референсный маркер R, расположенный в точке одиночного маркера, и рабочий маркер Δ . Перемещая рабочий маркер колесом прокрутки, совмещаем его со вторым откликом. Сдвиги уровня и частоты относительно маркера R выводятся в верхней части экрана.

Повторите измерения для полос пропускания 30 и 3 кГц при полосах обзора, указанных в таблице 2. Результаты измерений занесите в таблицу. Постройте график зависимости Δf_p от ширины полосы пропускания фильтра

3. Измерение чувствительности анализатора спектра

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

Через фиксированный аттенюатор 60 дБ подайте на вход спектроанализатора гармонический сигнал с частотой 15 МГц от генератора ВЧ. Установите центральную частоту анализатора 15 МГц, полосу обзора 5 МГц, полосу УПЧ – 30 кГц, полосу видеофильтра 300 Гц, отсчетный уровень RefLevel=-60 дБм. На экра-

не появится отклик, соответствующий частоте входного сигнала и изображение собственных шумов спектроанализатора.

Проведите измерение пороговой чувствительности при полосе пропускания $RBW=30$ кГц. Меняя уровень сигнала генератора, добейтесь, чтобы его величина превышала уровень шума на 20 дБ. Запишите среднеквадратическое значение напряжения входного сигнала генератора (с учетом его ослабления в аттенюаторе на 60 дБ – в 1000 раз) и величину собственных шумов анализатора в дБм. Занесите результат в таблицу по форме 3.

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

4. 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 гармоники от уровня первой в диапазоне мощности сигнала 10 ..24 дБм и рассчитывается $SH1$ - точка пересечения со второй гармоникой (см. раздел 2 настоящего описания).

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

Увеличивая уровень входного сигнала $L_{вх}$, 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. п.1) и получите в центре ак-

тивного экрана отклик второй гармоники (с частотой 4 МГц в полосе обзора 1 МГц). Уменьшая значение сигнала генератора $L_{\text{вх}}$ от значения +23 dBm с шагом 1 dBm, с помощью маркера (кнопка Поиск пика) измеряйте уровень второй гармоники L_2 . Измерение можно закончить, когда уровень второй гармоники станет меньше -50 дБм и ее отклик станет незаметен на фоне собственных шумов прибора. Результат измерения сведите в таблицу, по данным которой постройте график зависимости $L_2(L_{\text{вх}})$. Аппроксимируйте ее прямой линией. На этом же графике нанесите зависимость $L_1(L_{\text{вх}})$ - это прямая линия под углом 45° (см. рис. 4).

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

$$SH1 = L_{\text{вх}} + a_{k2} = 2L_{\text{вх}} - L_2, \text{дБм}$$

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

Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет должен содержать структурную схему анализатора, результаты измерений, краткие выводы.

Список литературы

1. Дворяшин Б.В. Метрология и радиоизмерения / Учеб. Пособие для студентов ВУЗов, -М.: Издательский центр «Академия», 2005. - 304с
2. Метрология и радиоизмерения / Учебник для ВУЗов. /Под ред. В.И.Нефедова, -М.: Высшая школа, 2003.
3. Данилин А.А. Измерения в технике СВЧ: Учеб. пособие для вузов. -М.: Радиотехника, 2008. -184с
4. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения. - М.: Высш. шк., 1986.

5. Мирский Г.З. Электронные измерения. - М.: Радио и связь, 1986.

Рекомендуемые формы таблиц

Форма 1

| Параметр | Номер гармоники n | | | | |
|---|-------------------|---|---|---|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | ... |
| Оценка уровня гармоники, дБм | | | | | |
| Частота гармоники, МГц | | | | | |
| Мощность гармоники P_n , дБм | | | | | |
| Относительное напряжение гармоники U_n , дБмВ | | | | | |
| Напряжение U_n , мВ | | | | | |

Форма 2

| Полоса УПЧ Δf_Φ , кГц | Полоса обзора | $\Delta f_p = f_2 - f_1 $, кГц |
|----------------------------------|---------------|----------------------------------|
| 300 | 2 МГц | |
| 30 | 200 кГц | |
| 3 | 50 кГц | |

Форма 3

| Полоса УПЧ Δf_Φ , кГц | Полоса обзора, МГц | Уровень шума, dBm | Уровень сигнала генератора, мВ |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------|
| 300 | 5 | | |
| 30 | 1 | | |
| 3 | 0.1 | | |