

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет “ЛЭТИ”

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы по дисциплине
“Микроволновая техника”

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ СВЧ СИГНАЛОВ ПАНОРАМНЫМ
ПРИБОРОМ С4-27

Санкт-Петербург
2008

В лабораторной работе студенты знакомятся с гетеродинным анализатором спектра СВЧ диапазона, методикой его настройки и использования для исследования непрерывных и импульсных сигналов.

1. Анализаторы спектра СВЧ радиосигналов

В диапазоне СВЧ наблюдение формы сигнала (зависимости его во времени) не позволяет получить полную информацию о нем. Так, осциллограмма радиосигнала с частотной модуляцией практически мало отличим от синусоидального сигнала, наличие в составе сигнала дополнительных гармонических составляющих маскируется большой величиной гармоники несущей частоты и пр. Анализ спектральных характеристик радиосигналов в диапазоне СВЧ более информативен и позволяет измерить его мощность, частоту, коэффициент модуляции и пр. Практически анализатор спектра в СВЧ диапазоне является таким же универсальным прибором для исследования радиосигналов, каким на низких частотах является осциллограф.

Напомним 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. Чаще измеряют модуль этого выражения – его называют *амплитудной спектральной функцией* или *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 используют спектральное представление 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 ($u(t \pm kT) = u(t)$, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$).

Ряд Фурье представляет собой совокупность гармонических колебаний с кратными частотами. Составляющая с нулевой частотой U_0 является постоянной составляющей сигнала. Последовательности амплитуд U_n и начальных фаз φ_n гармоник представляют собой *амплитудный* и *фазовый спектры* периодических сигналов.

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 определение амплитуд и частот гармонических составляющих периодических сигналов, измерение амплитудной спектральной функции непериодических сигналов и спектральной плотности мощности случайных сигналов.

Стандартные анализаторы спектра СВЧ диапазона строятся преимущественно по принципу последовательного анализа. Спектральные составляющие выделяют узкополосным фильтром. Фактически такой прибор является узкополосным селективным вольтметром с супергетеродинным принципом перестройки по частоте. Используют электронную перестройку частоты и панорамный принцип индикации результата. На выходе фильтра ставят измеритель уровня (квадратичный детектор). Результат измерения подают на отсчетное устройство - осциллографический индикатор.

Структурная схема прибора с последовательным методом анализа представлена на рис. 1.

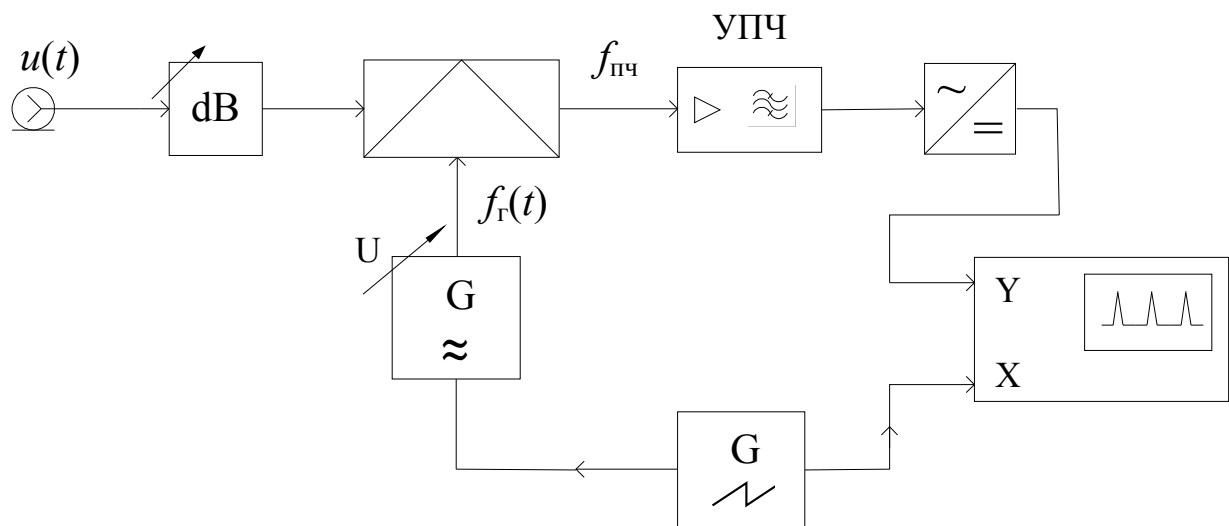


Рис.1. Структурная схема анализатора спектра последовательного типа.

Она напоминает схему измерителя АЧХ (анализатора цепей СВЧ). 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

$$f_c(t) = f_{c_0} + \Delta f_a \frac{u_{\text{упр}}(t)}{U_{\text{упр max}}}.$$

Сигнал с ГЧЧ 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 $f_c - f_r(t)$. Сигнал с разностной (и меняющейся во времени) частотой подают на вход узкополосного УПЧ, который и производит процедуру частотного анализа спектра. Закон изменения частоты от времени показан на графике рис.2, где для наглядности ось времени повернута вниз.

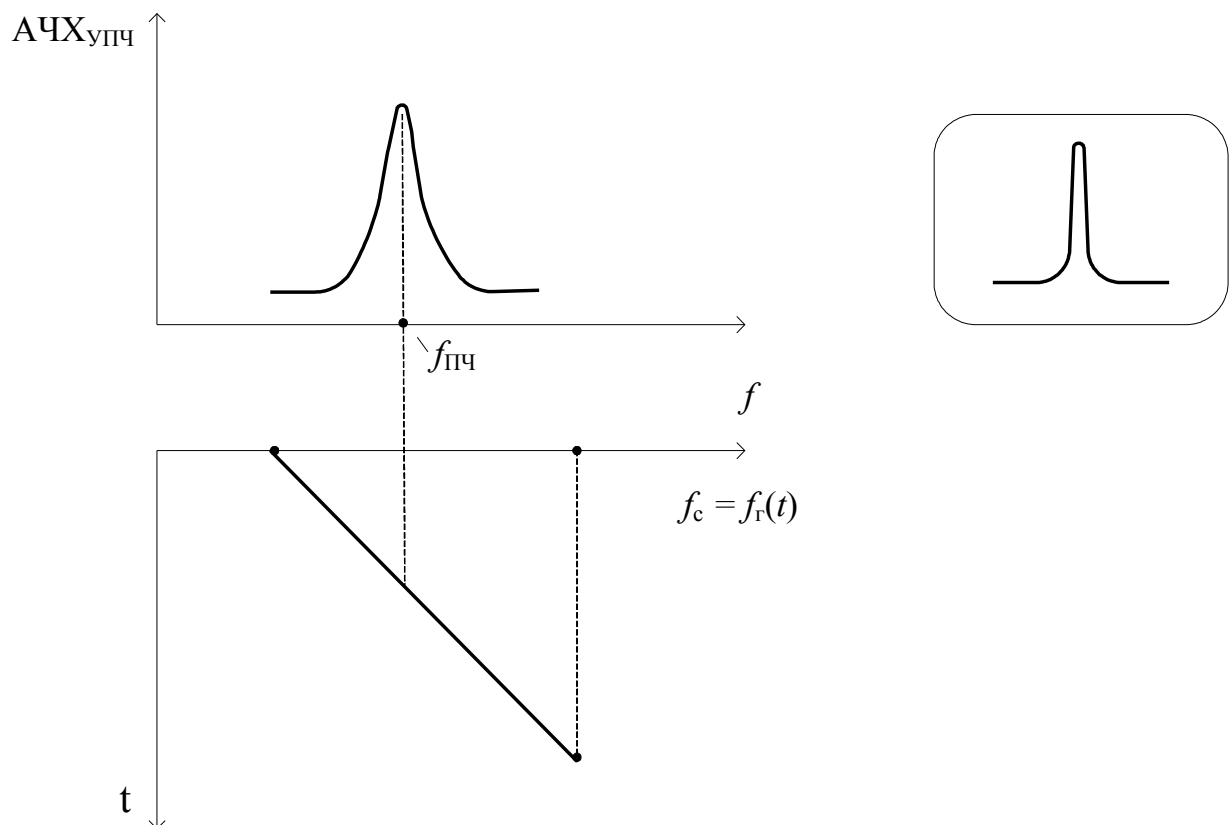


Рис.2. Принцип действия последовательного анализатора спектра

В момент t_0 , когда выполняется $f_c - f_z(t_0) = f_{пч}$, на выходе УПЧ появляется радиоимпульс. Его огибающая повторяет форму АЧХ фильтра УПЧ. Детектор выделяет напряжение (видеоимпульс), повторяющее его огибающую. Этот сигнал поступает на осциллографический индикатор. При наличии в составе спектра сигнала нескольких гармоник, процесс формирования видеоимпульса происходит аналогично, но в разные моменты времени. Совокупность откликов спектроанализатора на каждую гармоническую составляющую входного сигнала называют *спектрограммой*. 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.

Рассмотрим условия неискаженного воспроизведения спектрограммы. Отклик повторяет форму АЧХ УПЧ только в статическом режиме, когда изменение частоты происходит медленно по сравнению со скоростью переходных процессов в фильтре. На практике приходится учитывать искажение отклика за счет динамических искажений выходного напряжения фильтра из-за влияния переходных процессов (рис.3):

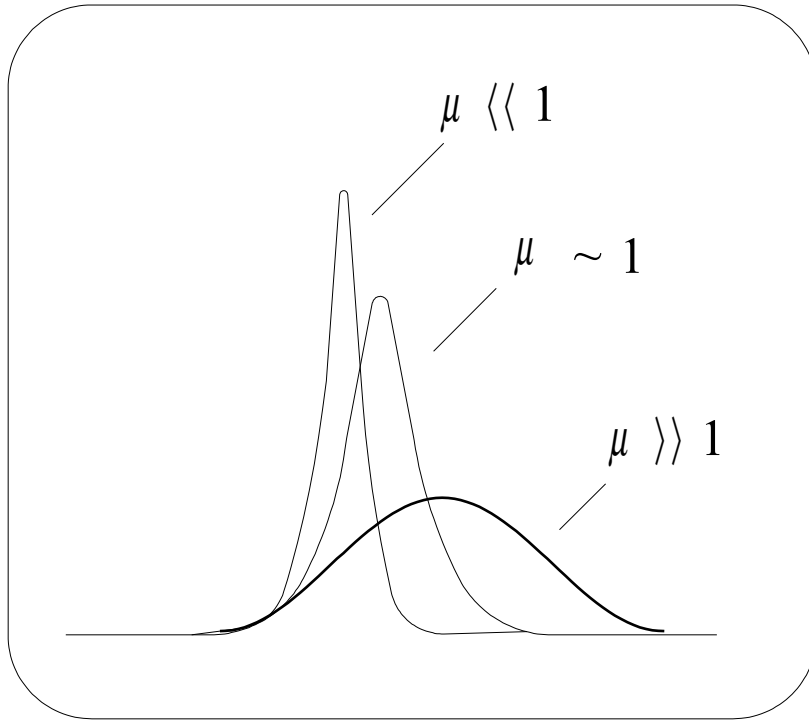


Рис.3. Динамические искажения спектрограммы коэффициентом динамических искажений μ , который равен отношению постоянной времени фильтра τ_ϕ к времени τ_0 пребывания частоты в пределах полосы пропускания фильтра

$$\mu = \frac{\tau_\phi}{\tau_0}.$$

Постоянную времени можно оценить через полосу пропускания $\Delta f_{УПЧ}$ фильтра

$$\tau_\phi = \frac{1}{A \cdot \Delta f_{УПЧ}},$$

где $A = 1..2$ – коэффициент, зависящий от схемы фильтра УПЧ. Время пребывания частоты рассчитывается через скорость изменения частоты ГЧ

$$v_f = \frac{\Delta f_a}{T_a} \text{ и полосу УПЧ} \quad \tau_0 = \frac{\Delta f_{УПЧ}}{v_f} = \frac{\Delta f_{УПЧ} T_a}{\Delta f_a}.$$

Коэффициент динамических искажений можно оценить следующим образом:

$$\mu = \frac{\Delta f_a}{A \cdot (\Delta f_{УПЧ})^2 T_a}.$$

Условие статического режима $\mu \ll 1$ для анализатора спектра является слишком жестким. Вполне допустимо небольшое отклонение формы откликов от АЧХ УПЧ. Считают приемлемым режим работы анализатора с $\mu \sim 1$.

Отсюда вытекает важное условие неискаженной спектрограммы, устанавливающее связь между временем анализа, полосой анализа и полосой пропускания УПЧ:

$$T_a \geq \frac{\Delta f_a}{A \cdot (\Delta f_{\text{УПЧ}})^2}.$$

При широкой полосе анализа и узкой полосе пропускания требуемое время анализа может достигать десятков секунд. Поэтому в анализаторах спектра применяют запоминающие осциллографические трубки. Полоса пропускания УПЧ делается регулируемой, что позволяет подобрать оптимальное соотношение между временем анализа и формой отклика спектроанализатора.

Второе условие неискаженной спектрограммы - неизменность спектра сигнала за время анализа. Иными словами, в процессе сканирования спектр сигнала не должен меняться – это соответствует условию, когда период сигнала $T \ll T_a$. В каждой частотной точке сигнал должен рассматриваться как периодический. В противном случае возникают искажения спектрограммы.

Рассмотрим особый случай исследования импульсных сигналов с большой скважностью ($\tau_n \ll T$). При этом период становится соизмеримым с временем анализа. Получить неискаженную спектрограмму в этом случае не удастся. Однако, если постоянная времени фильтра много меньше периода сигнала, то процессы в узкополосном фильтре можно рассматривать как воздействие на него одиночных импульсов, описываемых спектральной функцией $S(f)$ (рис.4)

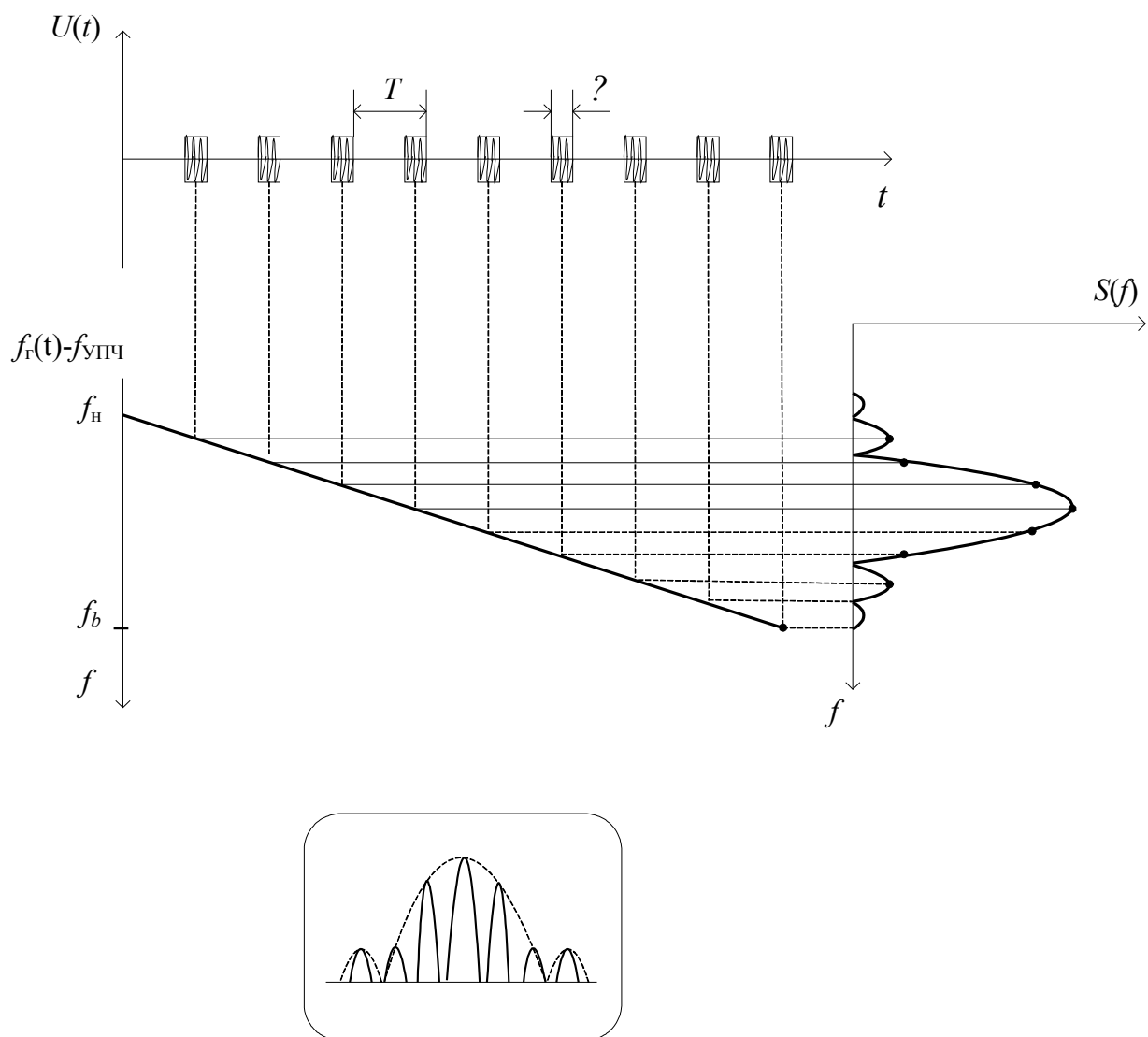


Рис.4. Спектральный анализ импульсов с большой скважностью.

Каждому входному импульсу соответствует отклик на экране спектроанализатора. Поскольку в пределах полосы пропускания спектральную функцию широкополосного импульса можно считать постоянной, то воздействие импульса на фильтр аналогично воздействию δ -функции. Форма отклика тогда соответствует импульсной характеристике фильтра, а амплитуда отклика пропорциональна значению спектральной функции одиночного импульса на частоте $f_c = f_r(t_i) + f_{\text{упч}}$, где t_i – момент прихода импульса. Например, если $T_a = 10T$, то на экране будут наблюдаться 10 откликов, соответствующих 10 входным импульсам. Огибающая их соответствует форме спектральной функции одиночного импульса. Поскольку частота входного сигнала не синхронизирована с частотой развертки, эти отклики

при повторном анализе будут перемещаться по экрану. Огибающая спектрограммы дает информацию о спектральной функции одиночного импульса.

Искажают спектрограмму и помехи, которые попадают на выход анализатора по зеркальному каналу. Напомним, что для супергетеродинного способа преобразования частоты характерно наличие паразитного зеркального канала прохождения сигнала. Кроме полезного сигнала с разностной частотой $f_c - f_r(t) = f_{\text{УПЧ}}$, в полосу пропускания УПЧ попадает сигнал с частотой, ниже частоты гетеродина на значение промежуточной частоты $f_r(t) - f_c = f_{\text{УПЧ}}$. Этот канал называют «зеркальным»; гармоника, попадающая на эту частоту, будет преобразована и создаст паразитный отклик, накладывающийся на полезный. Возникнет искажение спектрограммы. Для исключения паразитных сигналов необходимо осуществлять фильтрацию сигнала на входе анализатора. Это можно сделать электрически перестраиваемым фильтром, настроенным на частоту полезного сигнала (преселектор). В диапазоне СВЧ такой фильтр реализуют на ЖИГ-резонаторах с электронной перестройкой. Требования к таким фильтрам достаточно жесткие – синхронность перестройки с гетеродином, постоянство коэффициента передачи при перестройке, малый уровень шумов, высокая линейность.

Чаще используют неперестраиваемые полосовые фильтры, пропускающие весь рабочий диапазон частот спектроанализатора. При этом для лучшего частотного разделения полезного и зеркального каналов выбирают высокое значение промежуточной частоты. Однако на высоких ПЧ трудно получить узкие полосы пропускания фильтра. Выход из этого противоречия - использование двойного или тройного преобразования частоты. Частота первой ПЧ выбирается, исходя из требований подавления зеркального канала, частота последней ПЧ – с точки зрения простоты реализации узкополосного фильтра.

Измерение параметров спектра производят по спектрограмме. Амплитуды (уровни) спектральных составляющих измеряют обычно методом калиброванных шкал (аналогично универсальному осциллографу). Вертикальная шкала перед измерениями калибруется в единицах напряжения по образцовому синусоидальному сигналу, подаваемому на вход прибора. Калибровку надо производить после

установки полосы пропускания фильтра и скорости изменения частоты гетеродина, так как динамические искажения изменяют амплитуды откликов на экране. Для относительных измерений уровней гармоник применяют также метод замещения с использованием входного калиброванного аттенюатора.

Для точного измерения частоты гармоник метод калиброванных шкал не подходит из-за низкой стабильности установки частотного диапазона спектроанализатора. Вместо этого используют метод частотных меток. На вход анализатора вместе с исследуемым сигналом от встроенного или внешнего калибратора подают радиоимпульсы, частота повторения которых стабилизирована кварцем. Спектр импульсов содержит гармоники, расстояние между которыми равно образцовой частоте повторения. Отклики на эти гармоники образуют частотные метки на экране анализатора. Меняя частоту несущей радиосигнала, можно перемещать спектр сигнала калибратора в пределы полосы обзора. Сравнивая исследуемый и образцовый сигналы, по масштабной сетке проводят измерение частот гармоник. Другой способ – подать на вход синусоидальный сигнал с известной частотой. На экране он создаст одиночную частотную метку. Перемещая ее по изображению, добиваются совпадения метки с исследуемыми гармониками сигналом.

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 могут быть измерены. Количественно задается разностью частот двух гармонических составляющих, которые на экране создают спектрограмму сливающихся на уровне 0,5 откликов (рис.5)

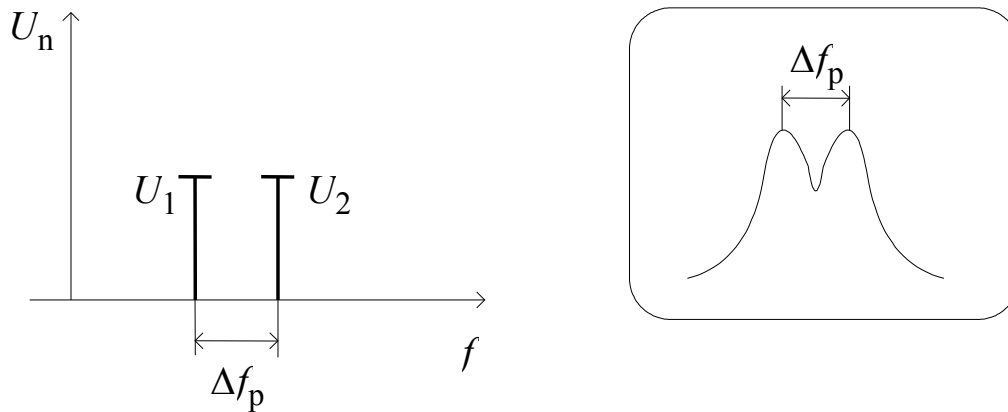


Рис.5. Определение разрешающей способности анализатора спектра

Отметим, что разрешающая способность напрямую не определяет точность измерения амплитуд и частот гармоник— она показывает возможность визуально различить отклики от гармонических составляющих. Различают статическую и динамическую разрешающие способности. Статическая определяется шириной полосы пропускания УПЧ. Для типовой формы АЧХ УПЧ используют эмпирическую формулу

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

Динамическая разрешающая способность определяется степенью расширения отклика из-за динамических искажений в фильтре. Так, при коэффициенте динамических искажений $\mu=10$ разрешающая способность ухудшается (увеличивается) более чем в 3 раза. Поэтому при исследовании сигналов с близкими гармониками используют увеличение времени анализа при минимально возможной полосе пропускания УПЧ.

- 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 (например, на 20 дБ). Иногда в паспорте прибора указывают уровень собственных шумов прибора, который позволяет оценить чувствительность по любому отношению сигнал/шум.

- 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.
- 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 широкий динамический диапазон (90 – 120 дБ)
- Амплитудно-частотная характеристика - это зависимость измеренной амплитуды гармоники при изменении ее частоты в пределах полосы обзора и постоянной амплитуде на входе. 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 определяется точностью калибровки шкалы.

2. Краткие технические данные анализатора спектра С4-27 и его структурная схема

Анализатор спектра С4-27 предназначен для исследования спектров периодически повторяющихся радиоимпульсов и непрерывных сигналов. С его помощью можно проводить следующие виды измерений:

- Определение уровня и частоты гармонических сигналов;
- Наличие паразитных амплитудной и частотной модуляции;
- Определение соотношения гармонических составляющих в спектрах сигналов сложной формы;
- Для импульсных сигналов: измерение частоты несущей и ширины лепестков спектра, оценку длительности импульса и искажения его формы по виду спектра.

Прибор обеспечивает следующие технические и метрологические параметры:

- Частотный диапазон прибора 10 МГц...39,6 ГГц с разбивкой на 5 поддиапазонов;
- Полоса обзора регулируется в пределах 0,1 – 5 МГц и 2-80 МГц;
- Полоса пропускания УПЧ регулируется в пределах 3-70; имеется две фиксированные полосы 1 кГц и 300 кГц;
- Динамический диапазон (по уровню интермодуляционных искажений) 50 дБ;
- Чувствительность, измеряемая по синусоидальному сигналу 2 ГГц при максимальной полосе УПЧ не хуже 10^{-3} мкВт.
- Погрешность установки частоты $\pm (2 \cdot 10^{-2} f + 1)$, МГц.
- Погрешность отсчета уровня по сетке 10%.
- Входное сопротивление коаксиального входа 50 Ом (разъем 7/3), волноводные входы 16 x 8, 11 x 5,5 и 7,2 x 3,4 мм.

Анализатор спектра С4-27 представляет собой супергетеродинный приемник с тройным преобразованием частоты и электронной перестройкой в пределах установленной полосы обзора. Он состоит из двух блоков СВЧ – СВЧ преобразо-

ватель и анализатор спектра на промежуточной частоте 160 МГц. Упрощенная структурная схема преобразователя СВЧ представлена на рис. 5.

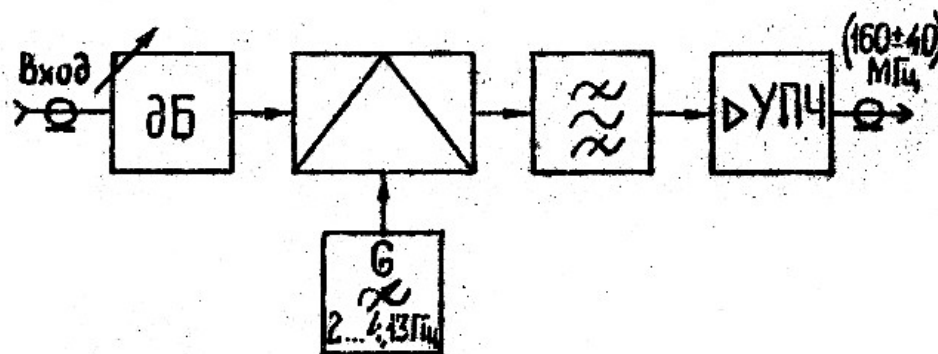


Рис.5. Структурная схема СВЧ преобразователя прибора С4-27

Он представляет собой пятидиапазонный преобразователь, в котором производится перенос спектра исследуемого сигнала на частоты диапазона (160 ± 403) МГц. Используется первая, вторая и третья гармоники триодного гетеродина, перекрывающего диапазон частот 0,01 – 1,9 ГГц. На частотах 1,9 -39,6 ГГц используются первая, вторая, четвертая и десятая гармоники клистронного гетеродина. Частота входного сигнала грубо оценивается по шкале гетеродина.

Особенностью СВЧ преобразователя является отсутствие дополнительной селекции входного сигнала. Это не позволяет подавлять паразитные каналы приема (зеркальный и побочные), что проявляется в виде ложных отметок сигнала на экране анализатора.

Анализатор спектра сигнала ПЧ (рис.6) представляет собой приемник на частоту 160 МГц.

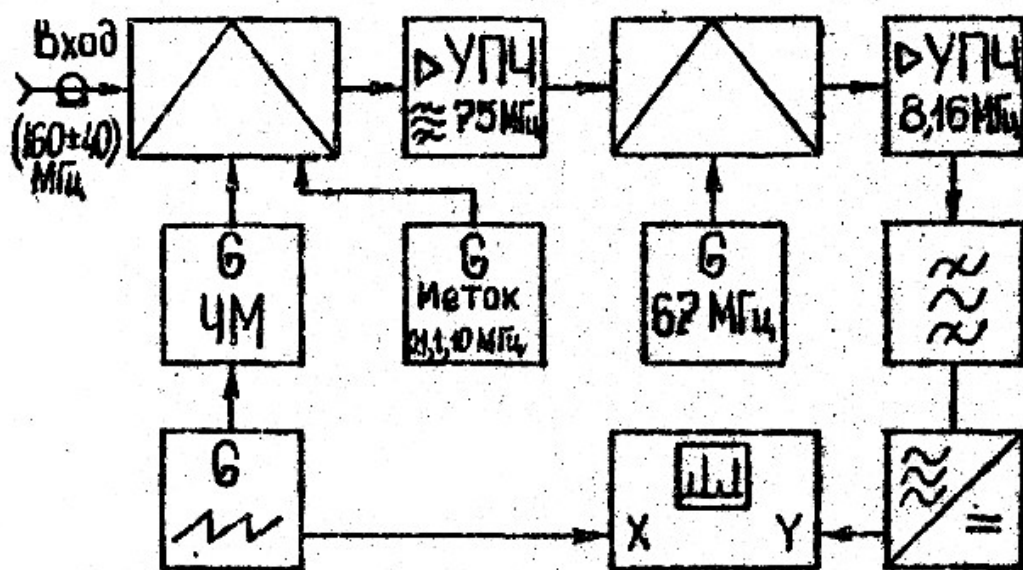


Рис.6. Блок анализатора ПЧ прибора С4-27

Первое преобразование переносит исследуемый спектр на частоту 75,16 МГц. После фильтрации и усиления сигнал попадает на второй смеситель с фиксированной частотой гетеродина. Частота третьей ПЧ 8,16 МГц. На этой частоте производится окончательное усиление сигнала и узкополосная фильтрация, определяющая форму отклика на экране. Амплитуда отклика пропорциональна уровню гармоники на входе прибора. Ширина отклика связана с шириной полосы пропускания УПЧ, который содержит плавно перестраиваемый LC-фильтр, а также два кварцевых фильтра с полосами 1 и 300 кГц.

После детектирования огибающая выходного сигнала УПЧ подается на канал вертикального отклонения осциллографического индикатора. Развертка изоб-

ражения осуществляется пилообразным напряжением, управляющим напряжением первого гетеродина блока ПЧ.

Для проведения частотных измерений предусмотрен калибратор. Он представляет собой генератор радиосигнала частотой 160 МГц, модулированного синусоидой с частотой 0,1, 1 или 10 МГц. Этот сигнал подается на вход анализатора и на экране появляется его спектр. Расстояние между откликами соответствует образцовой частоте сигнала модуляции. Такой спектр представляет собой частотные метки, которые позволяют откалибровать ось частот анализатора спектра.

Для калибровки оси амплитуд подают гармонический сигнал от внешнего генератора с известной амплитудой.

3. Задание и указания к выполнению лабораторной работы

В лабораторной установке используется анализатор спектра С4-27, генератор СВЧ и модулирующий импульсный генератор.

1. Подготовка установки к работе

Перед началом работы включите питание приборов и дайте им прогреться 5-10 мин. Включите в анализаторе С4-27 частотный диапазон 1,9 -12 ГГц, полосу пропускания - минимальную (1 кГц), развертку – 0,3 с, постоянную времени 0,03 мс. Переключите вертикальный масштаб анализатора МОЩН, полосу обзора 2-80 МГц, плавная регулировка -максимальная. Включите в генераторе СВЧ режим непрерывной генерации (НГ), ослабление выходного аттенюатора 30дБ, частоту – 2 ГГц.

Поставьте переключатель МЕТКИ в положение НЕСУЩАЯ. Отрегулируйте размер изображения так, чтобы линия развертки совпадала бы с нижней линией шкалы индикатора, а метка занимала бы примерно 6-8 делений по вертикали.

Ручкой ЦЕНТР.ЧАСТОТА установите метку на центральную вертикальную линию шкалы. Переведите переключатель ОБЗОР в положение 0,1 – 5 МГц. Положение метки при этом должно сохраняться, в противном случае подстройте по-

ложение метки регулятором, выведенным под шлиц. Эта метка соответствует центральной частоте анализатора ПЧ, равной 160 МГц.

Определите реальную полосу обзора анализатора. Для этого переключите МЕТКИ в положение 1 МГц и измерьте узкую полосу качания (0.1-5 МГц). Затем измерьте широкую полосу качания 2 – 80 МГц, используя метки 10 МГц. Запишите полученные результаты.

2. Измерение частоты гармонических сигналов СВЧ

Измерьте поданный на вход сигнал генератора СВЧ. Для этого на преобразователе частоты установите визир на отметку 2000 МГц по шкале частот 1,9 – 3,9 ГГц. Получите максимальную величину отклика сигнала генератора, регулируя режим преобразователя ручкой ТОК СМЕСИТЕЛЯ. Установите переключатель НЕСУЩАЯ. Расстояние между меткой и откликом сигнала по горизонтальной оси соответствует абсолютной погрешности градуировки шкалы генератора СВЧ. Измерьте ее, используя частотные метки 10, 1 и 0, 1 МГц. При необходимости регулируйте полосу обзора.

Повторите измерения погрешности установки на частотах 2100, 2200, 2300, 2400, 2500 МГц. Результаты измерений сведите в таблицу. Постройте график погрешности градуировки генератора СВЧ.

3. Измерение чувствительности анализатора С4-27

Установите масштаб индикации МОЩН, полосу обзора – максимальную (80 МГц), полоса УПЧ – 1 кГц. Регулировкой выходной мощности генератора добейтесь совпадения отклика сигнала с 9 делениями шкалы при максимальном коэффициенте усиления (ОТСЧЕТ АМПЛИТУД - 49 дБ, УСИЛЕНИЕ – крайнее правое положение). Запишите уровень выходной мощности генератора СВЧ – он равен чувствительности анализатора спектра при узкой полосе УПЧ. Установите полосу УПЧ 300 кГц и отрегулируйте усиление так, чтобы размер собственных шумов составлял бы 4-5 делений. Повторите измерение чувствительности для случая максимальной полосы УПЧ.

4. Измерение вертикального масштаба шкалы анализатора С4-27

Установите максимальный уровень сигнала генератора (-27 дБ·Вт), квадратичный масштаб по вертикали (МОЩН). Отрегулируйте положение и высоту отклика сигнала так, чтобы он занимал 10 делений в центре экрана (используйте ручки УСИЛЕНИЕ, ОТСЧЕТ АМПЛИТУД). Плавное увеличение ослабления аттенюатора генератора и - тем самым уменьшая уровень выходной мощности, - поочередно добейтесь совпадения отклика с каждым делением шкалы по вертикали. Запишите полученные при этом значения ослабления А, дБ. Рассчитайте абсолютную величину выходной мощности по формуле $P = 10^{(3 - A/10)}$, мВт. Результаты сведите в таблицу. Повторите измерения для линейного масштаба по вертикали (переключатель в положении ЛИН).

Постройте графики полученных зависимостей. По оси Y отложите установленную мощность генератора, по оси X – число делений вертикальной шкалы.

5. Исследование спектров узкополосного радиоимпульса СВЧ

Для получения радиоимпульсов используется генератор СВЧ в режиме внешней импульсной модуляции. Подайте на генератор модулирующий сигнал от генератора импульсов положительной полярности с амплитудой порядка 5-10 В. Длительность импульса 10 мкс, частота повторения порядка 500 Гц.

С помощью ручек ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТОТА и ОБЗОР добейтесь появления спектра радиоимпульса в центре экрана. Для получения удобного масштаба по горизонтали используйте узкую полосу обзора 0,1 - 5 МГц.

Зарисуйте спектр и определите частотный масштаб изображения с помощью меток 0,1 МГц. Измерьте положение нулей огибающей спектра. По ширине главного лепестка оцените реальную длительность импульса и сравните ее с длительностью импульса модуляции.

Повторите измерение спектра, устанавливая длительность модулирующих импульсов 15 и 20 мкс.

Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет должен содержать структурную схему установки, таблицы данных и графики измеренных зависимостей.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте измерительные задачи, решаемые анализатором спектра последовательного типа.
2. Какие особенности имеет измерение спектров в СВЧ диапазоне?
3. Для чего в анализаторах спектра используют двойное или тройное преобразование частоты?
4. Поясните структурную схему последовательного анализатора спектра. Укажите назначение основных блоков прибора.
5. Как устроен анализатор спектра С4-27? Какие функции выполняет блок преобразователя частоты?
6. Что такое рабочий диапазон частот и полоса обзора спектроанализатора и чем они отличаются?
7. Что такое динамический диапазон анализатора спектра? Почему стремятся сделать его большим?
8. Как производят измерение амплитуд спектральных составляющих в спектроанализаторах последовательного типа?
9. Как выполняется измерение частоты гармоник в анализаторе спектра С4-27?
10. Какие параметры анализатора спектра определяет полоса пропускания УПЧ? В каких случаях ее необходимо подбирать?
11. Что такое прямой и зеркальный каналы спектроанализатора?

Список литературы

1. Данилин А.А. Измерения в технике СВЧ: Учеб. пособие для вузов.- М.: Радиотехника, 2008.-184с
2. Дворяшин Б.В. Метрология и радиоизмерения / Учеб. Пособие для студентов ВУЗов, -М.: Издательский центр «Академия», 2005. - 304с
3. Метрология и радиоизмерения / Учебник для ВУЗов. /Под ред. В.И.Нефедова, -М.: Высшая школа, 2003.
4. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения. - М.: Высш. шк., 1986.
5. Измерения в электронике. Справочник /Под ред. В.А. Кузнецова. - М.: Энергоатомиздат, 1987.-512 с.
6. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине “Измерения на СВЧ”.А.А.Данилин, В.Н.Малышев, М.Л.Тылевич. -ЛЭТИ.- Л.:1990.- 28с.

