



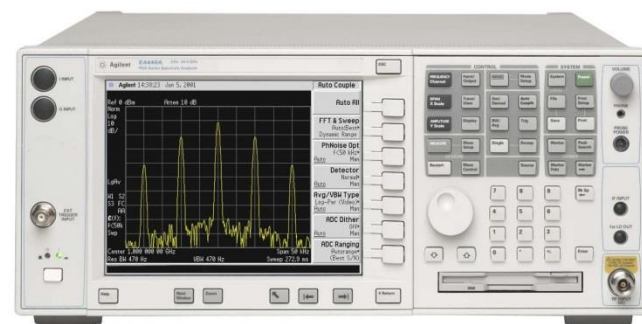
СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

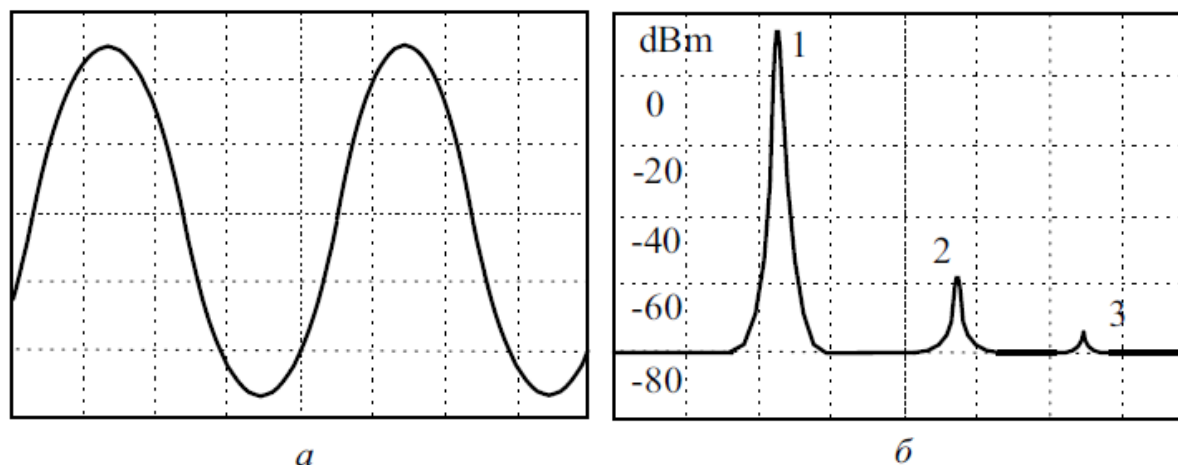
www.sfu-kras.ru

Метрология и радиоизмерения. Лекция 8

Анализаторы спектра радиосигналов



Спектр радиосигнала



Изображение ЧМ сигнала на экране:
а – осциллографа; *б* – спектроанализатора

Для описания одиночного сигнала $u(t)$ в частотной области используют **спектральную функцию** (или спектральную плотность, В/Гц), определяемую прямым преобразованием Фурье:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) e^{-i2\pi ft} dt .$$

Спектр радиосигнала

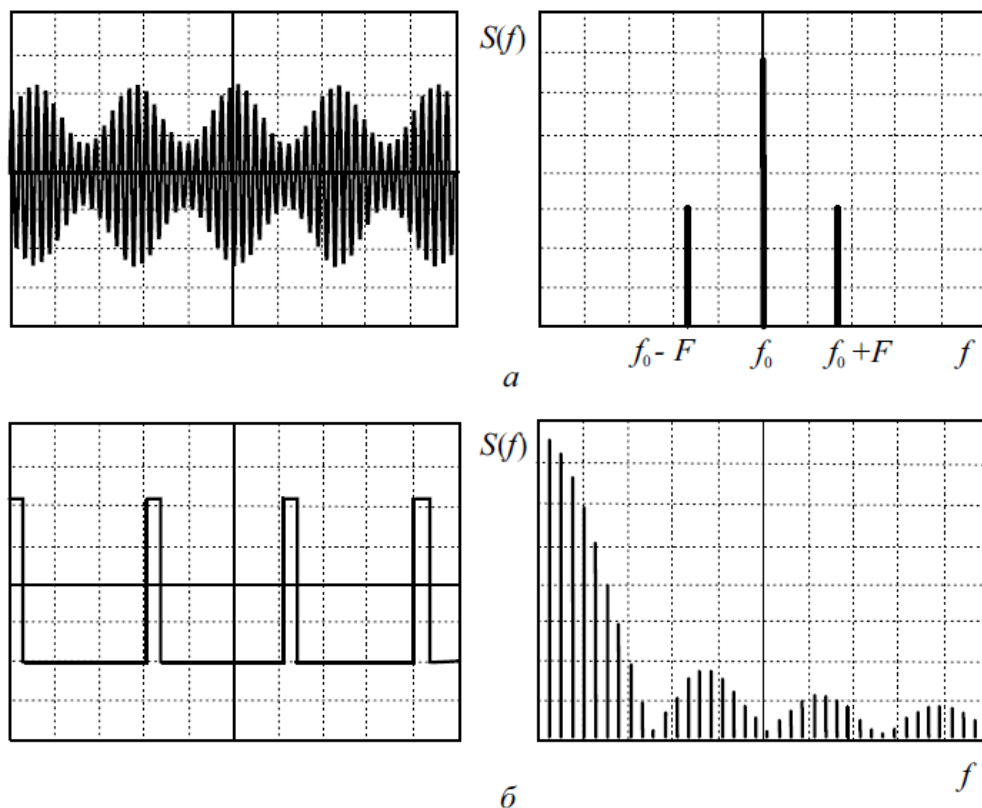
*В реальных условиях измерить можно только **текущий частотный спектр**, характеризующий незаконченный процесс за время T_a :*

$$S(f, T_a) = \int_{-T_a/2}^{T_a/2} u(t) e^{-i2\pi ft} dt.$$

время анализа T_a (время интегрирования) должно быть много больше длительности одиночного сигнала (а для периодического сигнала – больше его периода).

Наиболее часто измеряют модуль спектральной функции – его называют амплитудной спектральной функцией, или, проще, **амплитудным спектром сигнала**. Приборы, которые позволяют измерить амплитудный спектр, называют **анализаторами спектра** (АС).

Спектр периодического сигнала



Осциллограммы и спектрограммы: *а* – радиосигнала с тональной АМ; *б* – последовательности прямоугольных импульсов

Для периодических сигналов спектральная функция представляет собой последовательность дельта-функций, смещенных друг относительно друга на частоту повторения сигнала (линейчатый спектр):

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

Примеры спектров непериодических сигналов

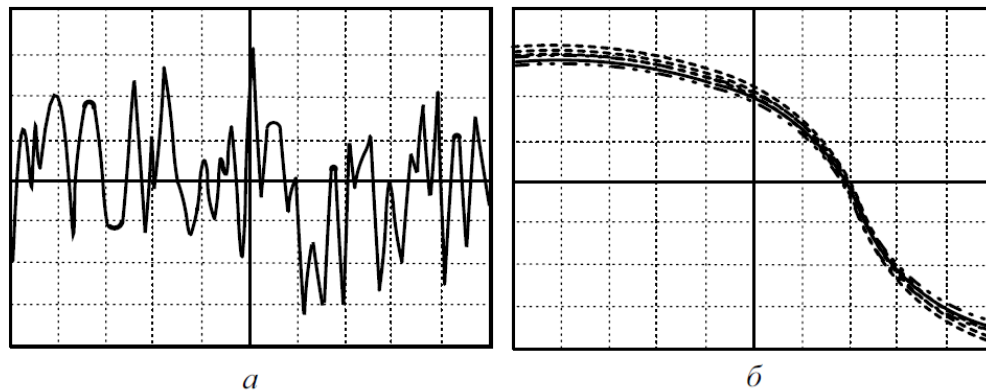
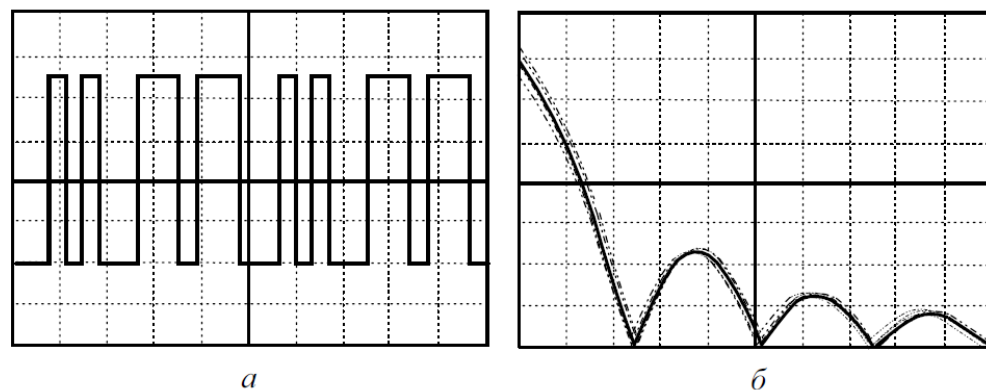
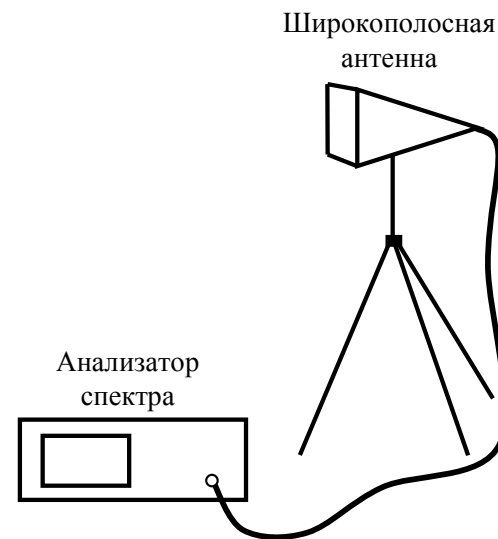
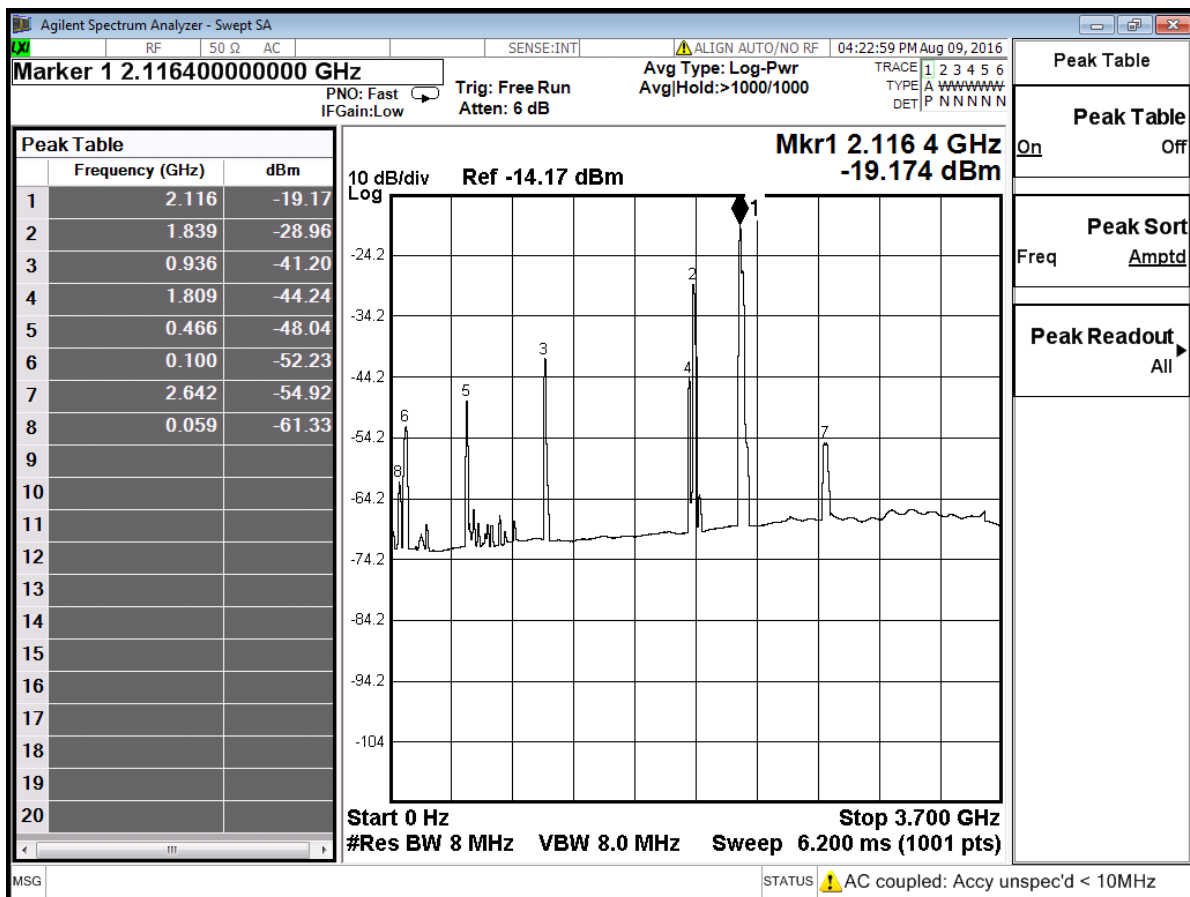


Рис. 7.2. Шумовой сигнал: a – осциллограмма; b – спектрограмма



Случайная последовательность прямоугольных импульсов (бинарный цифровой сигнал): a – осциллограмма; b – спектрограмма

Пример применения анализатора спектра





Классификация методов и средств спектрального анализа

Классификация анализаторов спектра

По диапазону частот — низкочастотные (до 1 МГц), высокочастотные (до 3..6 ГГц), СВЧ (до 40 ГГц и выше)

По принципу действия — параллельного типа (многоканальные) и последовательного типа (сканирующие).

По способу обработки измерительной информации и представлению результатов — аналоговые и цифровые.

По характеру анализа — скалярные, дающие информацию только об амплитудах гармонических составляющих спектра, и векторные, предоставляющие также информацию о фазовых соотношениях.

Области применения анализаторов спектра

Приборы диапазона НЧ – примерно до частоты 1 МГц используют для анализа сигналов низкочастотной электроники, акустики и механики.

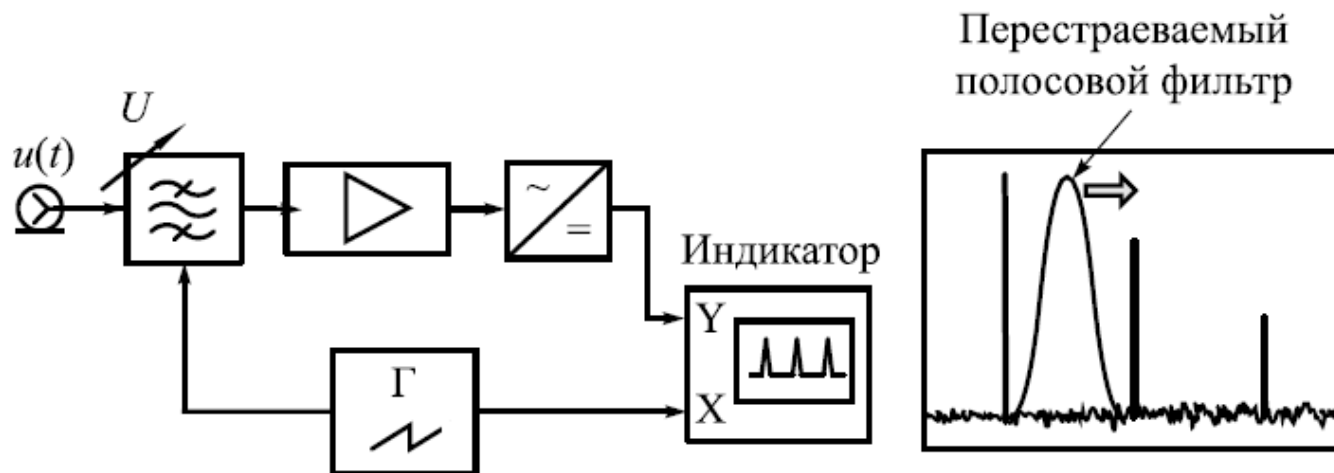
Спектроанализаторы диапазона ВЧ (примерно до 3..6 ГГц) необходимы при разработках систем мобильной связи, радиотехнических устройств, аппаратуры радиовещания и телевидения и пр.

Приборы для диапазона СВЧ (микроволновый диапазон – до 40 ГГц и диапазон миллиметровых волн – свыше 40 ГГц) применяют при измерениях в широкополосных линиях связи, радиорелейных и спутниковых каналах передачи цифровой информации и пр.

Задачи спектрального анализа

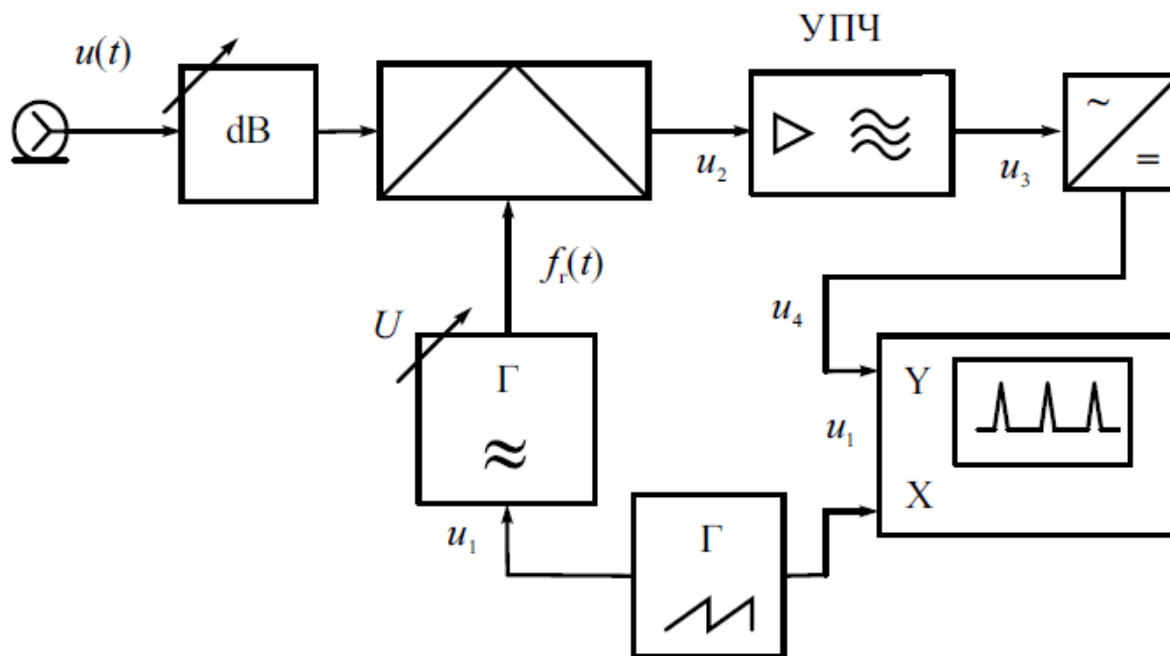
- *Определение амплитуд и частот гармонических составляющих периодических сигналов.*
- *Измерение амплитудной спектральной функции одиночных сигналов.*
- *Измерение спектральной плотности мощности случайных сигналов.*

Анализаторы спектра последовательного типа



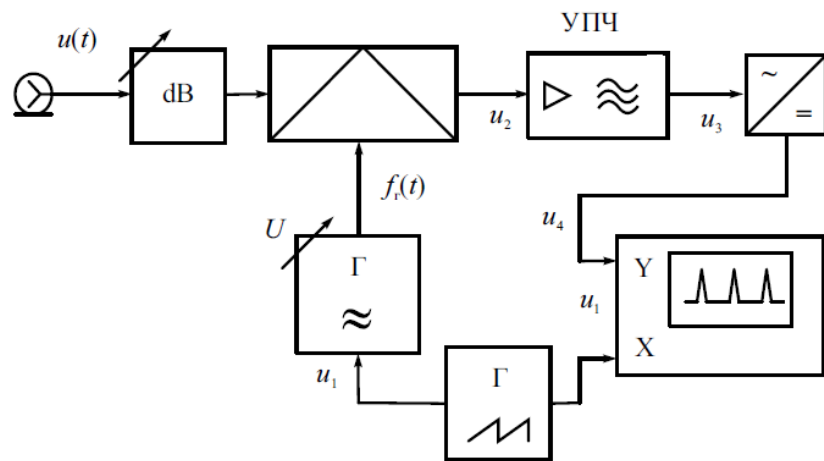
Последовательный анализатор спектра с перестраиваемым полосовым фильтром

Анализаторы спектра последовательного типа



Последовательный анализатор спектра
с перестраиваемым гетеродином

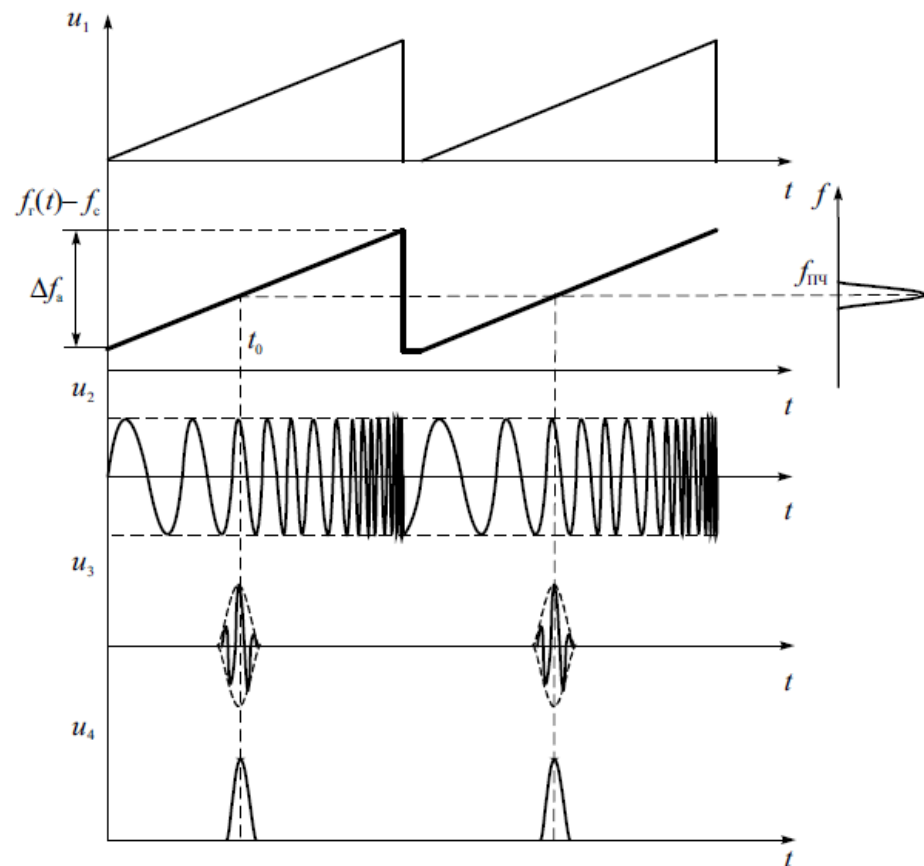
Анализаторы спектра последовательного типа



Последовательный анализатор спектра с перестраиваемым гетеродином

$$f_{\Gamma}(t) = f_{\Gamma \min} + (f_{\Gamma \max} - f_{\Gamma \min}) \frac{u_p(t)}{U_p} \quad (7.1)$$

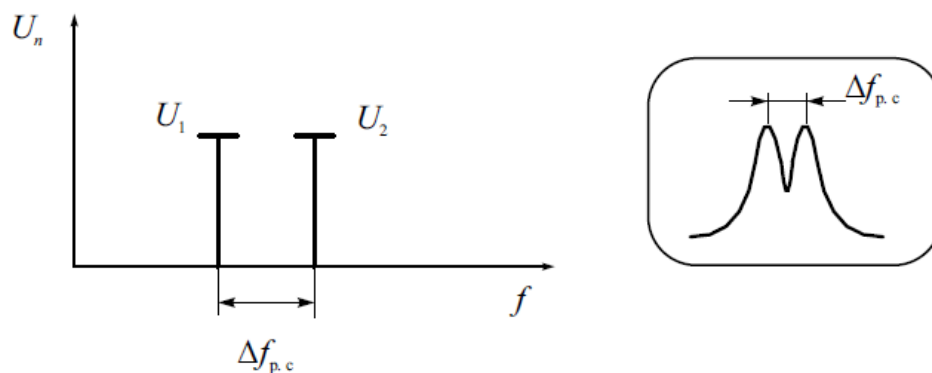
$$f_{\text{ПЧ}} = f_{\Gamma}(t_0) - f_c$$



Осциллограммы сигналов последовательного спектроанализатора

Основные параметры АС последовательного типа

- **Рабочий диапазон частот** – это тот частотный диапазон, в котором возможен анализ спектра данным прибором. Рабочий диапазон может быть разбит на поддиапазоны.
- **Полоса обзора (полоса анализа)** – это диапазон частот, в котором производится обзор спектра сигнала за один ход развертки.
- **Разрешающая способность** – минимальная разность частот двух спектральных составляющих, при которой они на экране фиксируются раздельно и могут быть измерены.



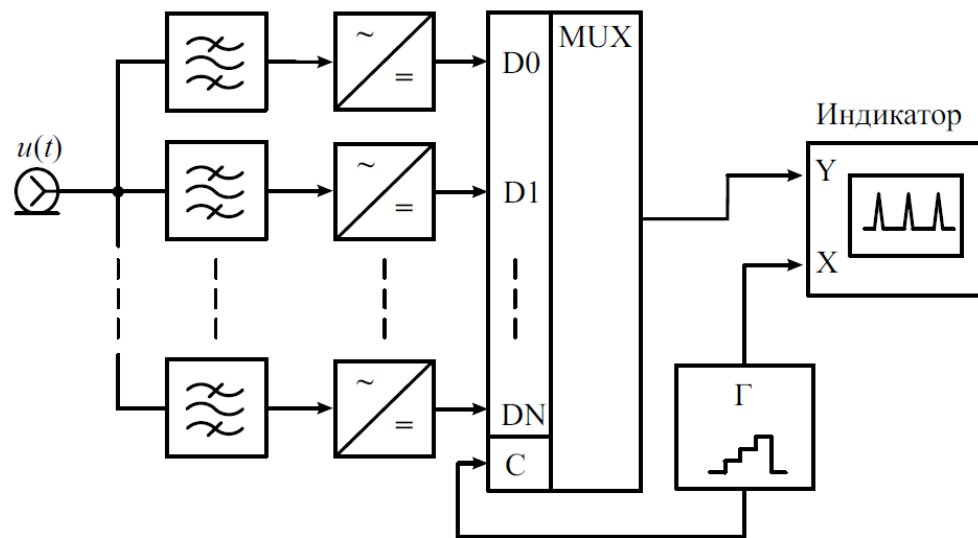
Спектрограмма, соответствующая разрешающей способности
АС последовательного типа

Основные параметры АС последовательного типа

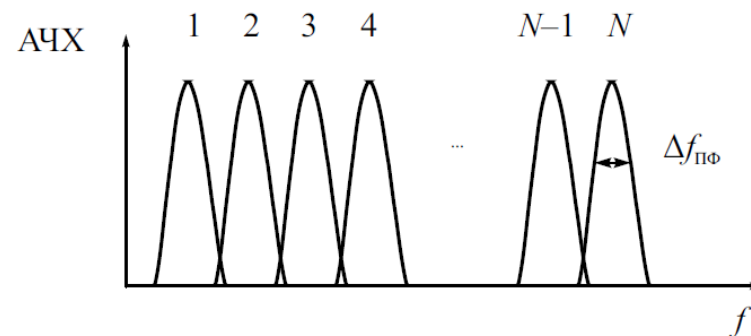
- **Чувствительность АС** – это минимальный уровень входного гармонического сигнала, который может быть измерен с заданной точностью.
Чувствительность ограничена, как правило, внутренними шумами прибора.
- **Максимальный уровень входного сигнала** определяется уровнем допустимых искажений исследуемого спектра при воздействии сигнала на входные активные блоки прибора.
- **Динамический диапазон** – это соотношение максимального и минимального уровней двух гармоник, при котором искажения их спектрограммы за счет нелинейности АС пренебрежимо малы. Как правило, он определяется нелинейностью входных блоков спектроанализатора (смесителя, усилителя и пр.).
- **Метрологические параметры АС** – это погрешности измерения уровня и частот гармоник.

Современные анализаторы спектра последовательного типа обеспечивают значительный динамический диапазон (130...150 дБ). Погрешности измерения амплитуды 0.5...2 дБ, измерения частоты 10^{-3} ... 10^{-6} .

Анализаторы спектра параллельного типа

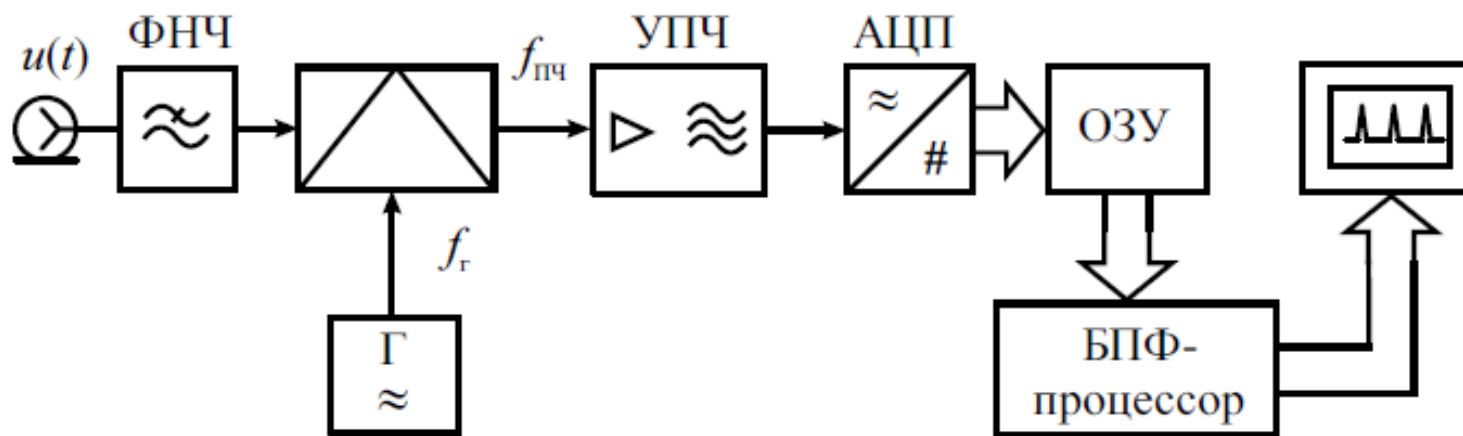


Параллельный анализатор спектра



Частотные характеристики фильтров параллельного анализатора спектра

Вычислительные анализаторы спектра



Структурная схема вычислительного анализатора спектра