

# Работа 3.6.1

## Спектральный анализ электрических сигналов

Шелихов Дмитрий  
Группа Б01-305

2 октября 2024 г.

**Цель работы:** изучить спектральный состав периодических электрических сигналов.

**В работе используются:** анализатор спектра (аналоговый или цифровой), генератор прямоугольных импульсов и сигналов специальной формы, осциллограф.

### Теоретическая справка

Периодическая функция может быть представлена в виде бесконечного ряда гармонических функций - ряда Фурье:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{in\omega_0 t}$$

$\omega_0 = 2\pi/T$ , где  $T$  - период функции  $f(t)$ . Коэффициенты  $c_n$  могут быть найдены по формуле:

$$c_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{-in\omega_0 t} dt.$$

Простейший спектральный анализатор - высокодобротный колебательный контур с подстраиваемой ёмкостью или индуктивностью.

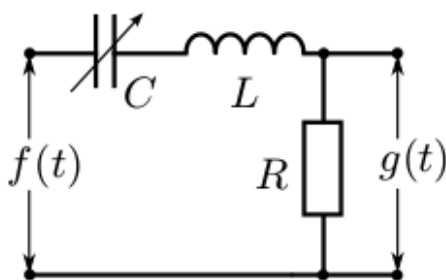


Рис. 1. Колебательный контур как узкополосный фильтр

Такой контур усиливает гармоники входного сигнала  $f(t)$ , частота которых близка к резонансной  $\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ , и практически не реагирует на частоты, далёкие от  $\nu_0$ . Таким образом, с точки зрения преобразования сигналов, такой контур является

узкополосным фильтром с шириной полосы пропускания порядка  $\Delta\nu \approx \nu_0/Q$ , где  $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \gg 1$  - его добротность.

При этом амплитуда колебаний в контуре пропорциональна амплитуде  $|c(\nu_0)|$  гармоники в спектре функции  $f(t)$ , частота которой совпадает с  $\nu_0$ . Таким образом, меняя резонансную частоту контура, можно просканировать весь спектр входного сигнала.

**Экспериментальная установка** Рассмотрим следующую схему: Исследуемый сигнал  $f(t)$  и синусоидальный сигнал от вспомогательного генератора, называемого в таких системах **гетеродином**, подаются на вход **смесителя**. Смеситель преобразует колебания с частотами  $\nu_1$  и  $\nu_2$  в колебания на комбинированных частотах:  $\nu_1 + \nu_2$  и  $\nu_1 - \nu_2$ . Сигнал смесителя поступает на фильтр, настроенный на фиксированную резонансную частоту  $\nu_0$ . То есть, если  $f(t)$  содержит гармонику  $\nu = \nu - \nu_0$ , она будет усилена, а отклик будет пропорционален её амплитуде.

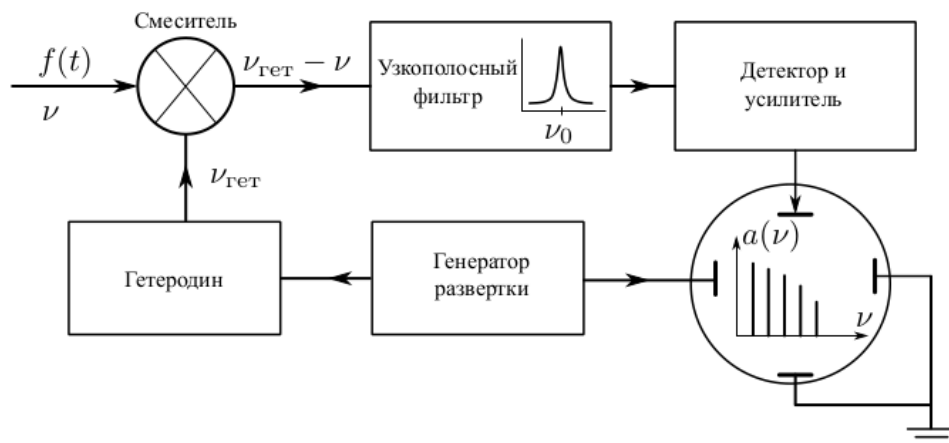


Рис. 2. Структурная схема анализатора спектра

На экране анализатора возникает график, изображающий зависимость амплитуды гармоник исходного сигнала от частоты, т.е. его спектр.

### Ход работы

#### А. Исследование спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов

Исследуем зависимость ширины спектра  $\Delta\nu$  периодической последовательности прямоугольных импульсов от длительности отдельного импульса  $\tau$ .

1) Ознакомимся с устройством приборов: генератор прямоугольных импульсов, осциллограф, анализатор спектра и подготовим их к работе, следуя техническим описаниям.

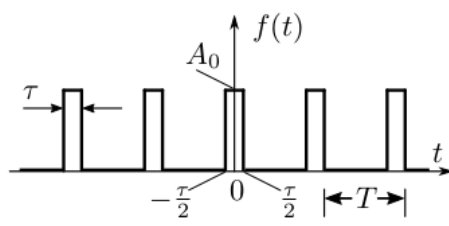


Рис. 3. Периодическая последовательность импульсов

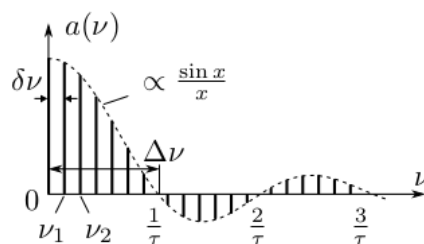


Рис. 4. Спектр последовательности импульсов (расчёт для  $\tau = T/7$ )

- 2) Подключим генератор прямоугольных импульсов через разветвитель к осциллографу и анализатору спектра.
- 3) На генераторе зададим частоту повторения импульсов  $\nu_{\text{повт}} = 1\text{кГц}$  (период  $T = 1\text{мс}$ ), длительность импульса  $\tau = 50\text{ мкс}$ . Получим устойчивую картину сигнала на осциллографе.
- 4) Предварительно оценим характерную ширину спектра из соотношения неопределённостей  $\Delta\nu \approx 1/\tau = 20\text{ кГц}$ .
- 5) Получим спектр сигнала на анализаторе спектра. Предварительно подберём начало отсчёта и диапазон измерения по частоте, так чтобы на экране помещалась большая часть спектра.
- 6) Изменяя параметры сигнала ( $\nu_{\text{повт}}$ ,  $\tau$ ), наблюдаем как изменяется его спектр.

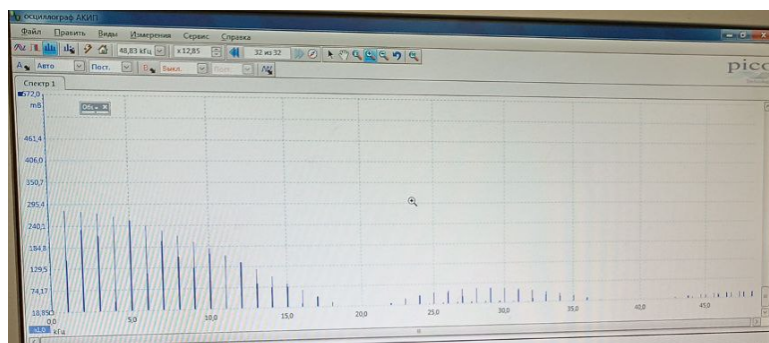


Рис. 1:  $\nu_{\text{повт}} = 1\text{кГц}$ ,  $\tau = 50\text{мкс}$

а) Картинка для сравнения

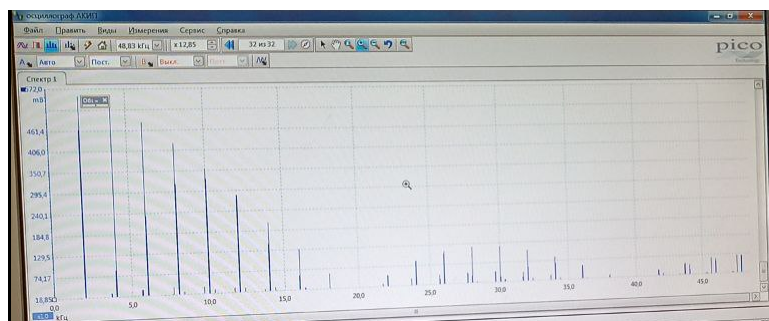


Рис. 2:  $\nu_{\text{повт}} = 2\text{кГц}$ ,  $\tau = 50\text{мкс}$

- б) При увеличении  $\nu_{\text{повт}}$  амплитуды гармоник увеличиваются, ширина спектра не меняется.
- в) При уменьшении  $\tau$  амплитуды уменьшаются, ширина спектра увеличивается.
- г) Изменили обе величины: амплитуды возросли, ширина спектра уменьшилась. (в результате суперпозиции пунктов б и в)

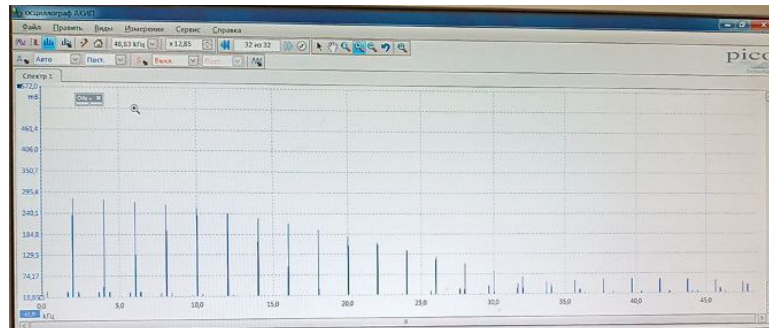


Рис. 3:  $\nu_{\text{повт}} = 2\text{кГц}$ ,  $\tau = 25\text{мкс}$

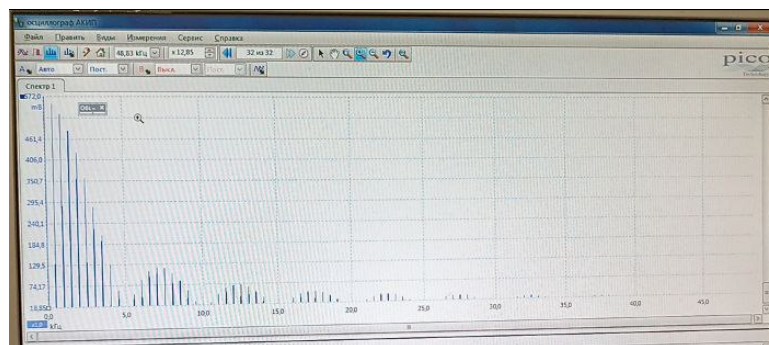


Рис. 4:  $\nu_{\text{повт}} = 0,5\text{кГц}$ ,  $\tau = 200\text{мкс}$