

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.6.1

**Спектральный анализ электрических  
сигналов**

выполнил студент группы Б02-103

Силаев Вадим

Долгопрудный, 2022 г.

## Аннотация

В работе производится исследование анализатора спектра путём проверки известных математических соотношений. На вход анализатора подаются различные периодические сигналы: прямоугольные импульсы, цуг гармонических колебаний, амплитудно модулированный сигнал; после анализа полученных спектров делаются выводы о выполнении соотношений, например, соотношения неопределённостей или соотношений на глубину амплитудной модуляции. Выполнение всех исследовавшихся соотношений позволяет заявить о работоспособности анализатора спектра и возможности его использования вместо ручного разложения сигнала в ряд Фурье.

## Введение

Задача описания поведения некоторой схемы во время часто представляет из себя выяснение зависимости между подаваемым сигналом и сигналом на выходе. Для линейных систем будет удобно рассматривать поступающий на вход сигнал как суперпозицию гармонических сигналов, преобразования которых легко вычислить.<sup>[2]</sup> Однако, вычисление коэффициентов такого разложения — трудоемкая вычислительная задача. Применение анализатора спектра — один из способов её решения, исследуемый в данной работе. В работе рассматриваются спектры различных периодических сигналов, например, прямоугольных импульсов, цугов, а также амплитудно-модулированные колебания и проверяются их свойства.

## Устройство анализатора спектра

Исследуемый сигнал  $f(t)$  и синусоидальный сигнал от вспомогательного генератора, называемого в таких системах гетеродином, подаются на вход смесителя. Смеситель — элемент, преобразующий колебания с частотами  $\nu_1$  и  $\nu_2$  в колебания на комбинированных частотах:  $\nu_1 + \nu_2$  и  $\nu_1 - \nu_2$ . «Разностный» сигнал смесителя поступает на фильтр — высокочастотный колебательный контур, настроенный на некоторую фиксированную резонансную частоту  $\nu_0$ . Таким образом, если  $f(t)$  содержит гармонику  $\nu = \nu_{\text{гет}} - \nu_0$  ( $\nu_{\text{гет}}$  — частота гетеродина), она будет усилена, а отклик будет пропорционален её амплитуде.

В спектральном анализаторе частота гетеродина пропорциональна напряжению, подаваемому на развёртку по оси X встроенного в анализатор осциллографа. Выходной сигнал подаётся на канал Y. На экране анализатора возникает, таким образом, график, изображающий зависимость амплитуды гармоник исходного сигнала от частоты, т. е. его спектр (заметим, что информация о фазах гармоник при этом теряется).<sup>[1]</sup>

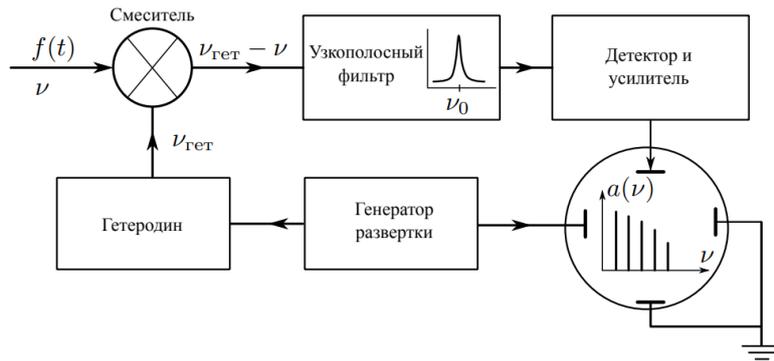


Рис. 1: Структурная схема анализатора спектра

# Практическая часть

## Прямоугольные импульсы

Установка на генераторе режима создания прямоугольных импульсов создаёт на анализаторе спектра следующие картины:

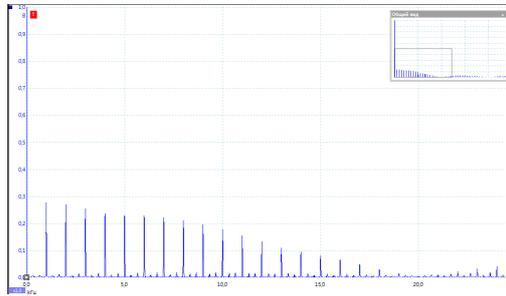


Рис. 2.1:  $\tau = 50$  мкс,  $f = 1$  кГц

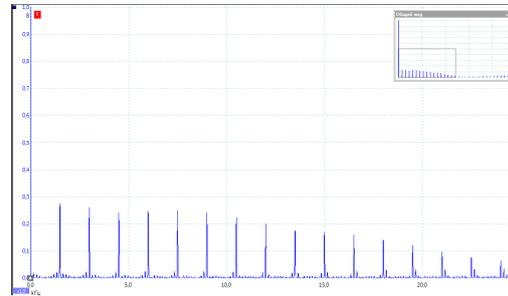


Рис. 2.2:  $\tau = 50$  мкс,  $f = 1,5$  кГц

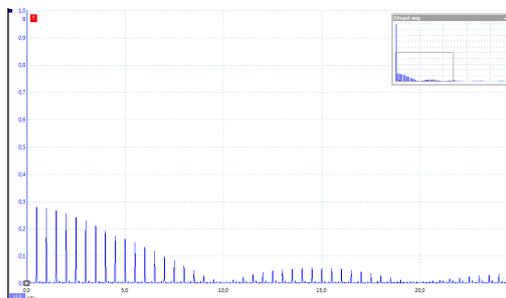


Рис. 2.3:  $\tau = 50$  мкс,  $f = 0,5$  кГц

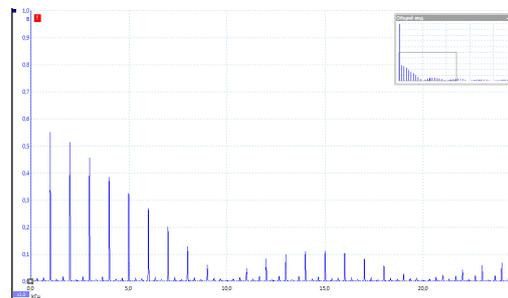
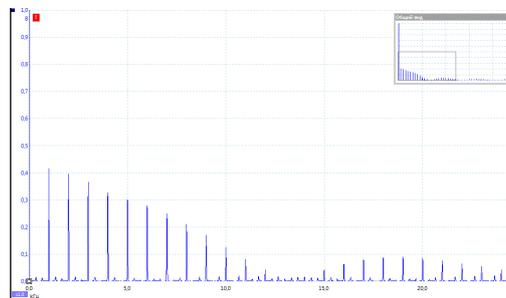


Рис. 2.4:  $\tau = 100$  мкс,  $f = 1$  кГц



2.5:  $\tau = 75$  мкс,  $f = 1$  кГц

На подписях к рис. 2 указаны  $\tau$  — длительность импульса,  $f$  — частота сигнала.

Проверено соотношение неопределенностей в данном случае. Измерено  $\Delta\nu$  при различных  $\tau$  и фиксированном  $f = 1$  кГц:

$\tau$ , мкс	20	40	60	80	100	120	140	160
$\Delta\nu$ , кГц	50	25	17,01	12,51	10,04	8,012	7,010	6,008
$\Delta\nu\tau$	1,00	1,00	1,02	1,00	1,00	0,96	0,98	0,96

То есть  $\Delta\nu\tau \approx 1$ , что говорит о справедливости соотношения в данном случае

## Цуги гармонических колебаний

Установка на генераторе режима создания цугов гармонических колебаний создаёт следующую картину:

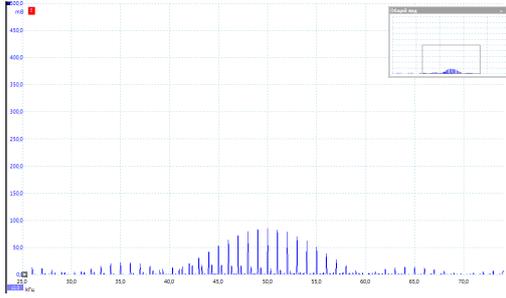


Рис. 3.1:  $\nu_0 = 50$  кГц,  $T = 1$  мс,  $N = 5$

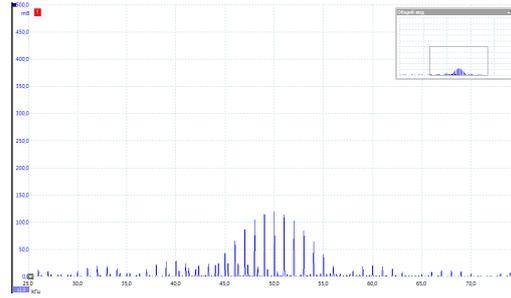


Рис. 3.2:  $\nu_0 = 50$  кГц,  $T = 1$  мс,  $N = 7$

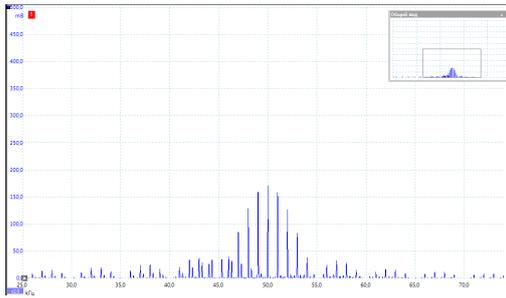


Рис. 3.3:  $\nu_0 = 50$  кГц,  $T = 1$  мс,  $N = 10$

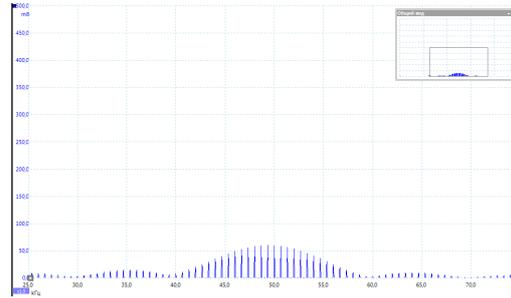


Рис. 3.4:  $\nu_0 = 50$  кГц,  $T = 1,5$  мс,  $N = 5$

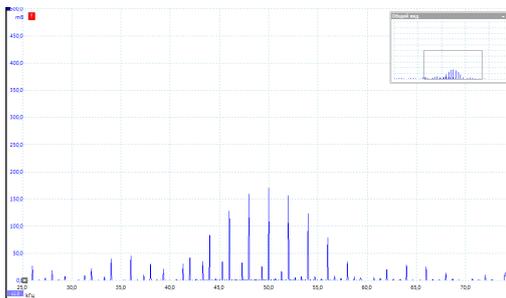


Рис. 3.5:  $\nu_0 = 50$  кГц,  $T = 0,5$  мс,  $N = 5$

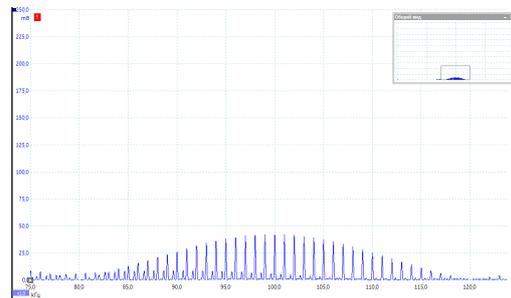


Рис. 3.6:  $\nu_0 = 100$  кГц,  $T = 1$  мс,  $N = 5$

На подписях к рис. 3 указаны  $\nu_0$  — частота колебаний,  $T$  — период цугов,  $N$  — количество колебаний в одном цуге.

При фиксированном  $\nu_0 = 50$  кГц,  $N = 5$  и при различных  $T$   $\delta\nu$  равно:

$T$ , мс	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$\delta\nu$ , кГц	2,00	1,02	0,65	0,5	0,39	0,33	0,29	0,25	0,21	0,19
$\delta\nu T$	1,00	1,02	0,98	1,00	0,98	0,99	1,02	1,00	0,95	0,95

Таким образом:  $\delta\nu T \approx 1$ , что отвечает выполнению соотношения неопределенностей в случае цугов гармонических колебаний.

## Амплитудно модулированные колебания

Спектр амплитудно модулированного сигнала представляет из себя основную и две боковые гармоники меньшей высоты.

Для начала проверяется справедливость соотношения для глубины модуляции. При  $\nu_0 = 50$  кГц,  $f_{mod} = 2$  кГц,  $m = 0,5$  максимальная и минимальная амплитуды сигнала будут равны:  $A_{max} = 1,26$  В и  $A_{min} = 0,42$  В.

$$m' = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} = 0,5 = m,$$

что показывает правдивость соотношения.<sup>[1]</sup>

На рис. 4 представлена зависимость  $k = a_{бок}/a_{осн}$  от  $m$ , где  $a$  — высота спектральной линии.

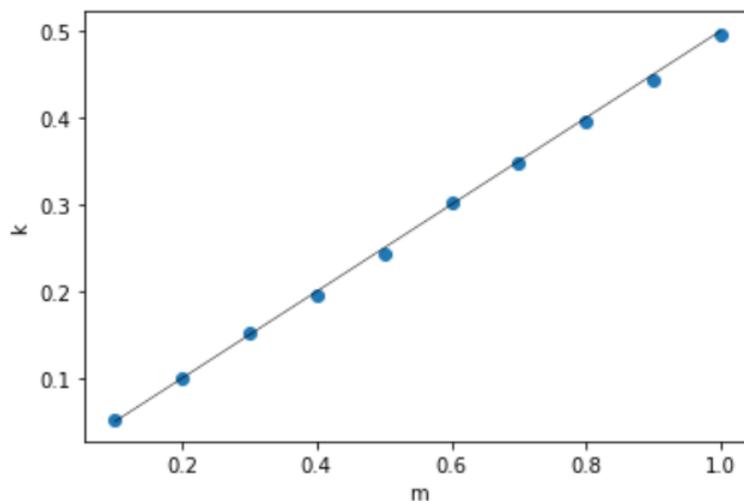


Рис. 4: Зависимость  $k$  от  $m$

Получено:  $k = \frac{1}{2}m$ , что соответствует теории.

## Фазово модулированные колебания

Спектры фазово модулированных колебаний при различных параметрах изображены ниже:

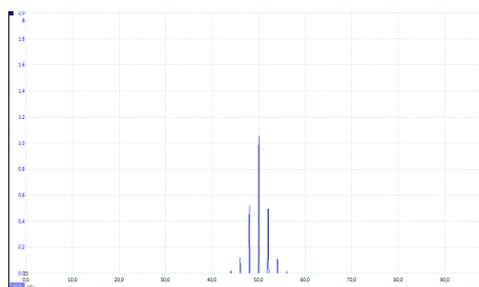


Рис. 5.1:  $\nu_0 = 50$  кГц,  $f_{mod} = 2$  кГц,  $\varphi = 50^\circ$

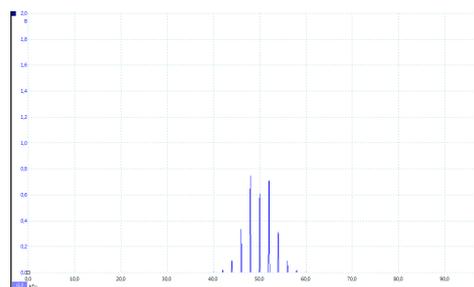


Рис. 5.2:  $\nu_0 = 50$  кГц,  $f_{mod} = 2$  кГц,  $\varphi = 90^\circ$

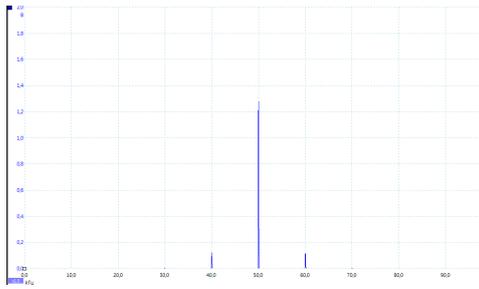


Рис. 5.3:  $\nu_0 = 50$  кГц,  $f_{mod} = 10$  кГц,  $\varphi = 10^\circ$

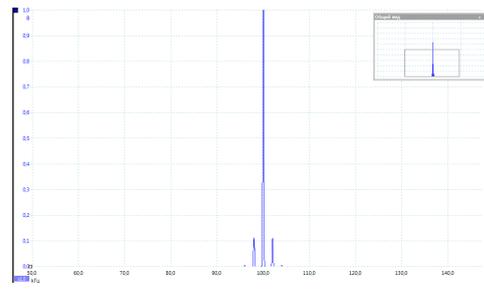


Рис. 5.4:  $\nu_0 = 100$  кГц,  $f_{mod} = 2$  кГц,  $\varphi = 10^\circ$

## Выводы

После выполнения работы сделаны выводы о исследованных соотношениях:

- Соотношение неопределенностей для прямоугольных импульсов  $\Delta\nu\tau = 1,00 \pm 0,03$  выполняется с большой точностью для проведенных измерений
- Аналогичное соотношению неопределенностей выражение  $\delta\nu T = 0,99 \pm 0,03$  верно для цугов гармонических сигналов примерно с такой же точностью
- Из зависимости отношения высот боковых и основной гармоник спектра амплитудно модулированного сигнала получено, что выполняется соотношение  $a_{бок} = \frac{m}{2} a_{осн}$

Подводя итоги, использование анализатора спектра вместо разложения сигнала в ряд Фурье — значительно более быстрый и удобный метод, имеющий при этом высокую точность.

## Список литературы

1. Лабораторный практикум по общей физике. В 3 томах. Том 2. Электричество и магнетизм: учебное пособие под ред. А. В. Максимычева, М. Г. Никулина, 2019. — 370 с.
2. Д.В. Сивухин. Общий курс физики. В 5-ти томах. Том 3. Электричество М.: Наука, 1977. — 704 с.