

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.^[2] 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 ν_1 и ν_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 ν_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).^[1]

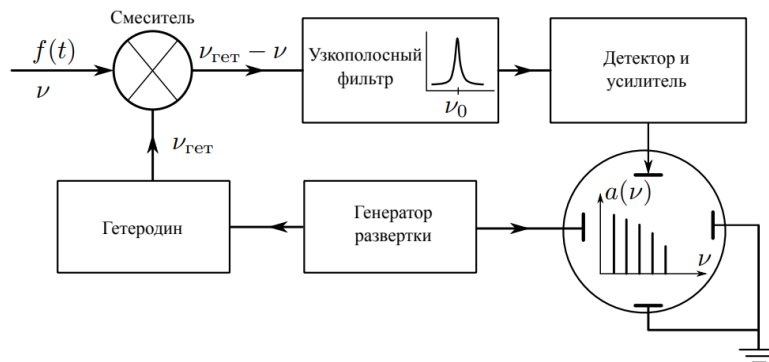


Рис. 1: Структурная схема анализатора спектра

Практическая часть

Прямоугольные импульсы

Установим на генераторе режим создания прямоугольных импульсов. Посмотрим как картина спектра зависит от параметров сигнала:

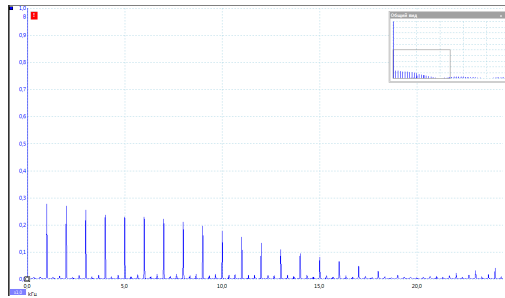


Рис. 2.1: $\tau = 50$ мкс, $f = 1$ кГц

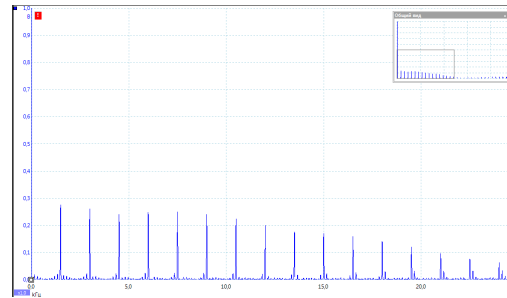


Рис. 2.2: $\tau = 50$ мкс, $f = 1,5$ кГц

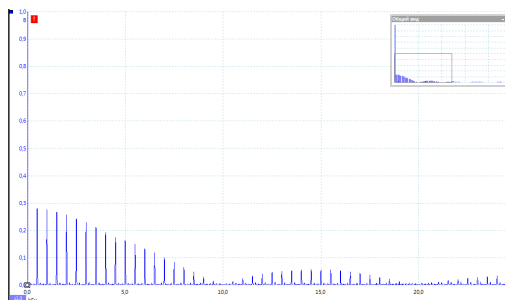


Рис. 2.3: $\tau = 50$ мкс, $f = 0,5$ кГц

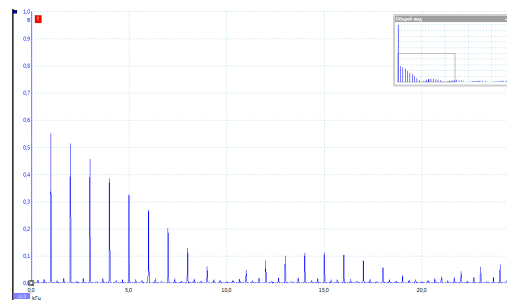
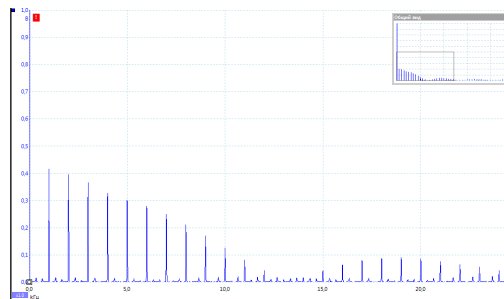


Рис. 2.4: $\tau = 100$ мкс, $f = 1$ кГц



2.5: $\tau = 75$ мкс, $f = 1$ кГц

Проверим соотношение неопределенностей в данном случае. Измеряем $\Delta\nu$ при различных τ и фиксированном $f = 1$ кГц:

τ , 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

Получаем, что $\Delta\nu\tau \approx 1$.

Цуги гармонических колебаний

Установим на генераторе режим создания цугов гармонических колебаний. Посмотрим как картина спектра зависит от параметров сигнала:

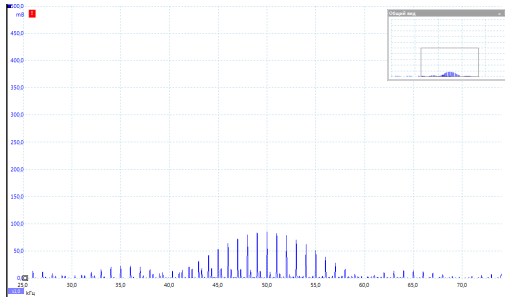


Рис. 3.1: $\nu_0 = 50$ кГц, $T = 1$ мс, $N = 5$

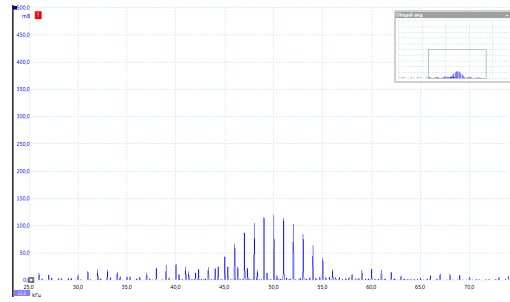


Рис. 3.2: $\nu_0 = 50$ кГц, $T = 1$ мс, $N = 7$

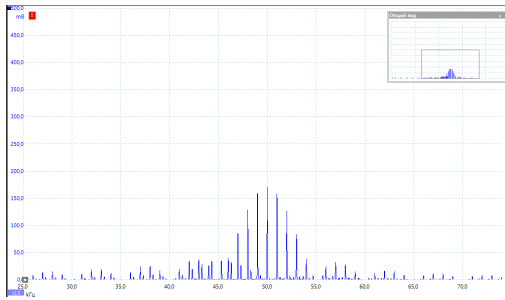


Рис. 3.3: $\nu_0 = 50$ кГц, $T = 1$ мс, $N = 10$

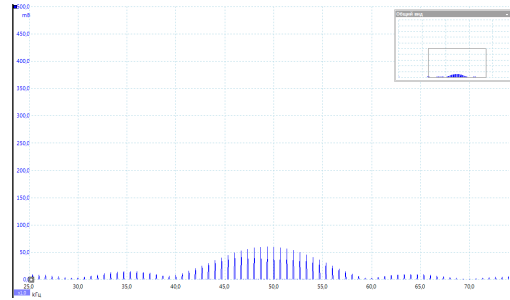


Рис. 3.4: $\nu_0 = 50$ кГц, $T = 1,5$ мс, $N = 5$

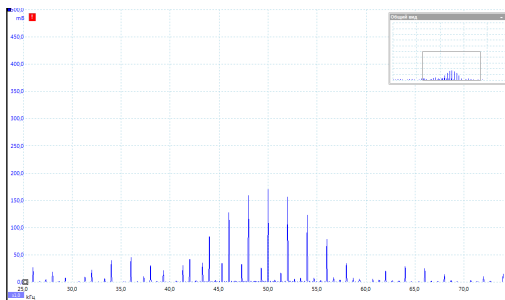


Рис. 3.5: $\nu_0 = 50$ кГц, $T = 0,5$ мс, $N = 5$

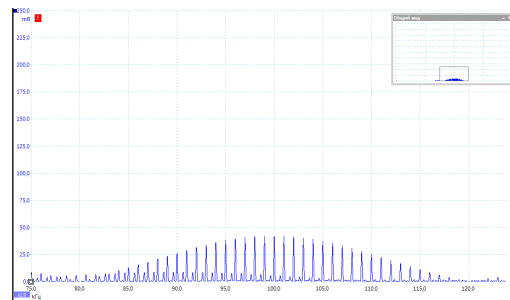


Рис. 3.6: $\nu_0 = 100$ кГц, $T = 1$ мс, $N = 5$

Теперь фиксируем $\nu_0 = 50$ кГц, $N = 5$ и измеряем $\delta\nu$ при различных T :

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

Получаем, что $\delta\nu T \approx 1$.

Амплитудно модулированные колебания

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

Для начала проверим справедливость соотношения для глубины модуляции. Установим $\nu_0 = 50$ кГц, $f_{mod} = 2$ кГц, $m = 0,5$. При этом 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.^[1]

Посмотрим на зависимость $k = a_{бок}/a_{осн}$ от m , где a — высота спектральной линии.

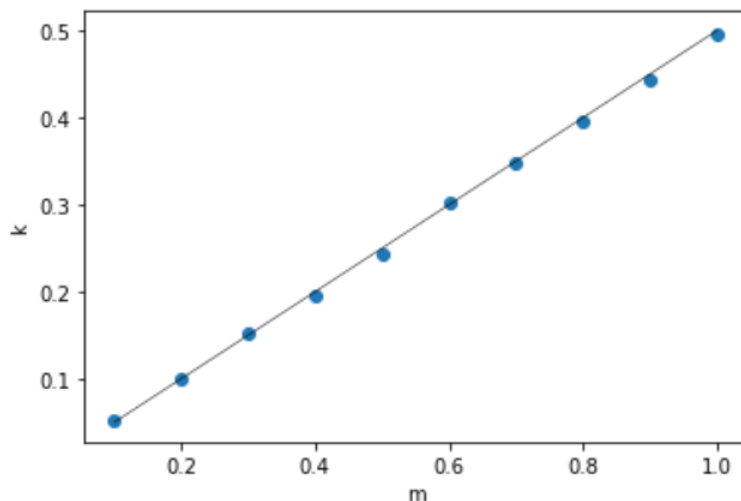


Рис. 4: Зависимость k от m

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

Фазово модулированные колебания

Спектры фазово модулированных колебаний при различных параметрах изображены ниже:

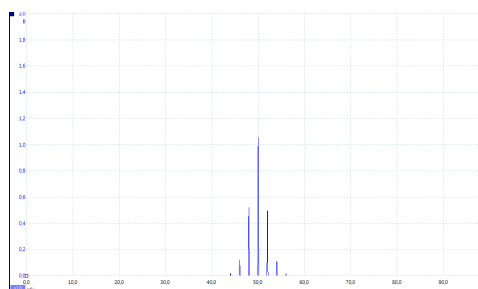


Рис. 5.1: $\nu_0 = 50$ кГц, $f_{mod} = 2$ кГц, $\varphi = 50^\circ$

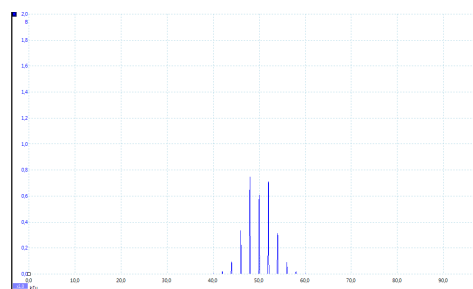


Рис. 5.2: $\nu_0 = 50$ кГц, $f_{mod} = 2$ кГц, $\varphi = 90^\circ$



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

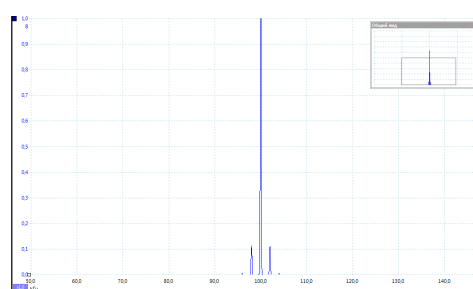


Рис. 5.4: $\nu_0 = 100$ кГц, $f_{mod} = 2$ кГц, $\varphi = 10^\circ$

Выводы

После выполнения работы делаем 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 делаем вывод, что выполняется соотношение $a_{\text{бок}} = \frac{m}{2} a_{\text{осн}}$

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.