

**Отчет о выполнении лабораторной  
работы 3.6.1 "Спектральный анализ  
электрических сигналов"**

Алпатова Александра, Калашников Михаил, Б03-205

**Цель работы:** изучить спектры сигналов различной формы и влияние параметров сигнала на вид соответствующих спектров; проверить справедливость соотношений неопределённостей; познакомиться с работой спектральных фильтров на примере RC-цепочки.

**В работе используются:**

- генератор сигналов произвольной формы
- цифровой осциллограф с функцией быстрого преобразования Фурье

- 1. Теоретическая справка**
- 2. Экспериментальная установка**
- 3. Проведение эксперимента**

1. Ознакомимся с устройством приборов.
2. Подключим один из выходов генератора к одному из каналов осциллографа и включим приборы в сеть.

### **3.1. Исследование спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов и проверка соотношений неопределённостей**

3. Настроим на генераторе генерацию прямоугольных импульсов с параметрами:  $\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ ,  $\tau = T/20 = 50 \text{ мкс}$ .
4. Получим на осциллографе устойчивую картину сигнала.
5. Получим на осциллографе спектр сигнала, подбрав правильный масштаб по осям.
6. Определим как изменяется спектр при изменении параметров сигнала.  
При увеличении  $\nu_{\text{повт}}$  уменьшается амплитуда спектра. При увеличении  $\tau$  уменьшается полная ширина спектра.

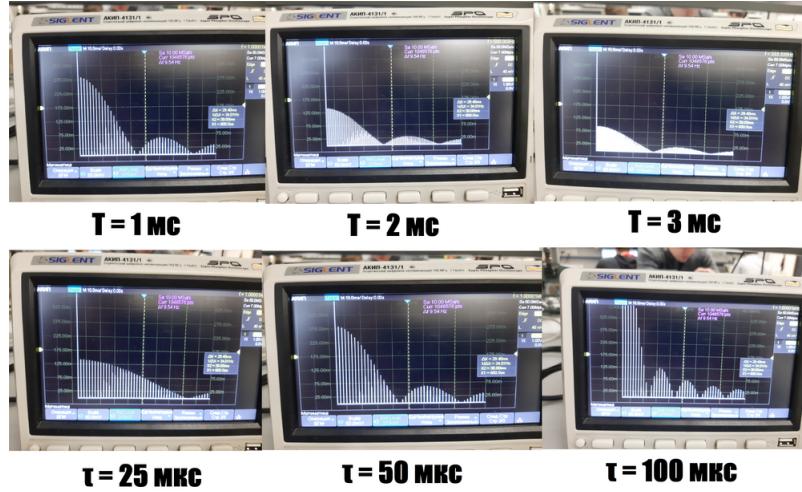


Рис. 1: Измерение параметров последовательности прямоугольных импульсов

7. Проведем измерения амплитуды  $a_n$  и частоты  $\nu_n$  нескольких спектральных компонент и сравним значения с табличными.

$n$	1	2	3	4	5
$\nu_n^{\text{эксп}}$ , кГц	1.04	2.04	3.04	4.04	5.04
$\nu_n^{\text{теор}}$ , кГц	1	2	3	4	5
$ a_n ^{\text{эксп}}$ , усл. ед.	300	295	289	281	271
$ a_n/a_1 ^{\text{эксп}}$	1	0.99	0.97	0.94	0.90
$ a_n/a_1 ^{\text{теор}}$	1	0.98	0.96	0.94	0.90

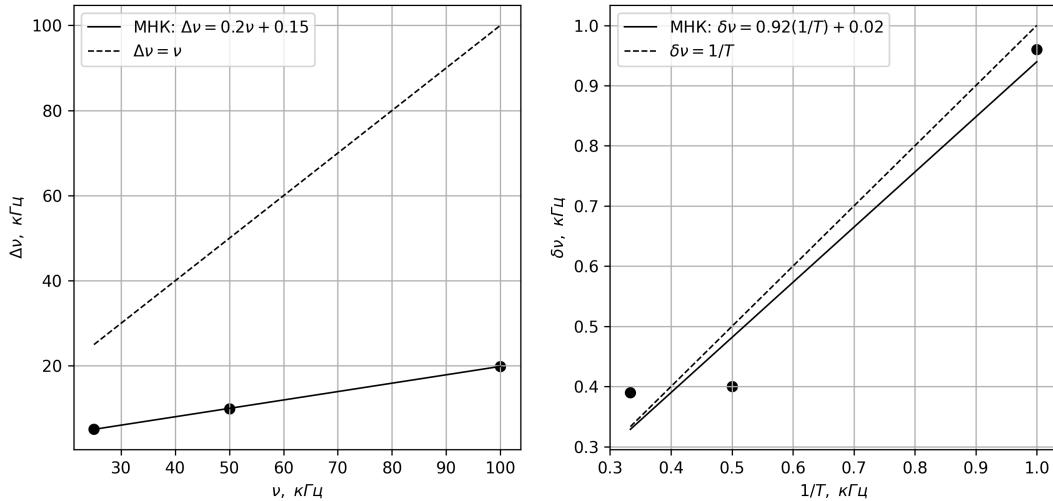
8. Фиксируя период, проведем измерения полной ширины спектра сигнала  $\Delta\nu$ .

$\tau$ , мкс	25	50	100
$\Delta\nu$ , кГц	80.6	40.1	20.1

9. Зафиксируя длительность импульса, измерим расстояния  $\delta_\nu$  между соседними гармониками спектра.

$T$ , мс	1	2	3
$\delta_\nu$ , кГц	1.99	1.03	0.60

10. Построим графики зависимостей  $\Delta\nu(1/\tau)$  и  $\delta\nu(1/T)$  и заметим, что расхождения с теоретическими значениями минимальны.



### 3.2. Наблюдение спектра периодической последовательности щугов

11. Настроим генератор на генерацию последовательных импульсов синусоидальной формы с параметрами  $\nu_0 = 50$  кГц,  $T = 1$  мс,  $N = 5$ . Получим на экране осциллографа устойчивую картину сигнала.
12. Получим на экране спектр сигнала и подберем масштаб для отображения полного спектра.
13. Изменяя параметры сигнала пронаблюдаем как изменяется наблюдаемый спектр.

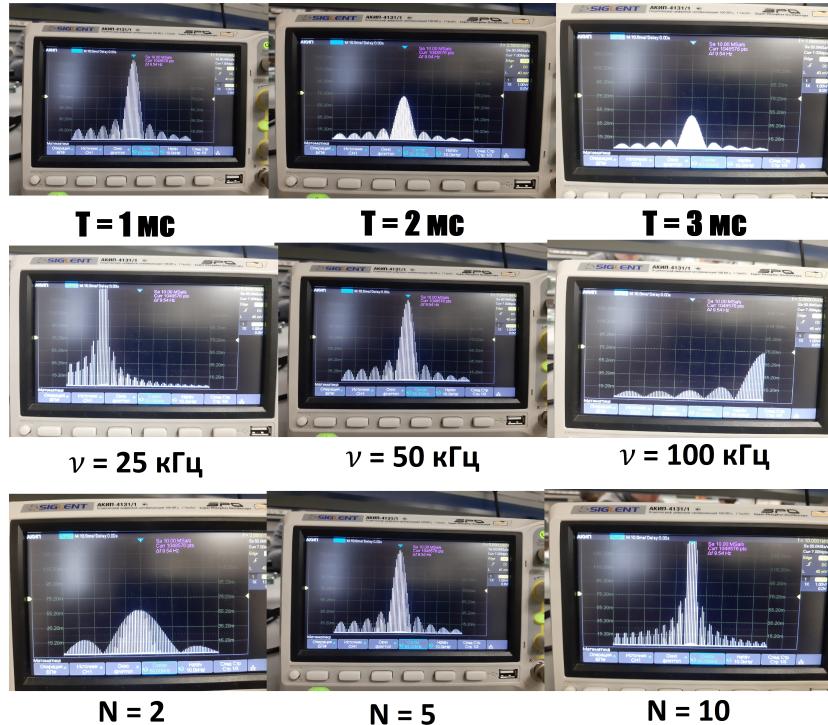


Рис. 2: Изменение параметров последовательности цугов

14. Измерим ширину спектра  $\Delta\nu$  и расстояние между гармониками  $\delta\nu$ . Убедимся в справедливости соотношения неопределенностей, проделав действия, описанные в пунктах 8-10.

$\nu$ , кГц	25	50	100
$\Delta\nu$ , кГц	5.14	9.93	19.9
$T$ , мс	1	2	3
$\delta\nu$ , кГц	0.96	0.40	0.39

### 3.3. Исследование спектра амплитудно-модулированного сигнала

19. Установим на генераторе режим модулированного по амплитуде синусоидального сигнала с параметрами  $\nu_0 = 50$  кГц,  $\nu_{\text{мод}} = 2$  кГц,  $m = 0.5$ . Получим на экране осциллографа устойчивую картину сигнала.
20. С помощью осциллографа измерим максимальную  $A_{max}$  и  $A_{min}$  амплитуды сигнала. Убедимся в справедливости равенства  $m = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}}$ .
21. Получим на экране спектр сигнала. С помощью осциллографа измерим частоты центральной и боковой гармоник. Пронаблюдаем как

изменяется положение спектральных линий при изменении несущей частоты и частоты модуляции.

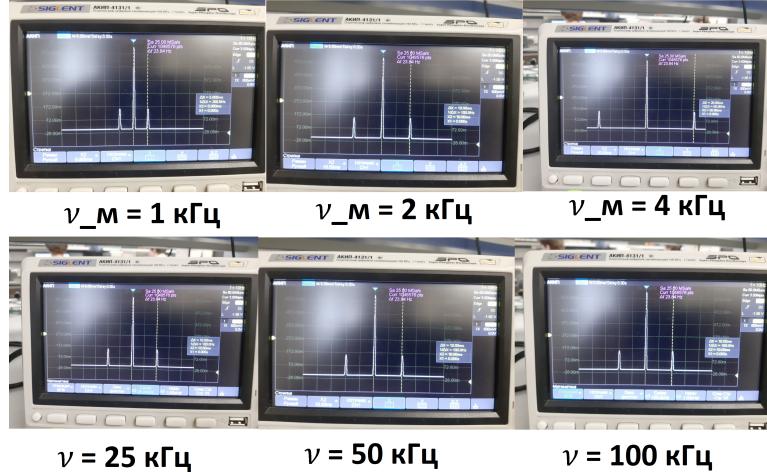


Рис. 3: Изменение параметров последовательности амплитудно-модулированного сигнала

22. Изменяя глубину модуляции  $m$  измерим отношение амплитуд боковой  $a_{бок}$  и основной  $a_{осн}$  спектральных линий.
23. Построим график зависимости  $a_{бок}/a_{осн}$  от  $m$ .

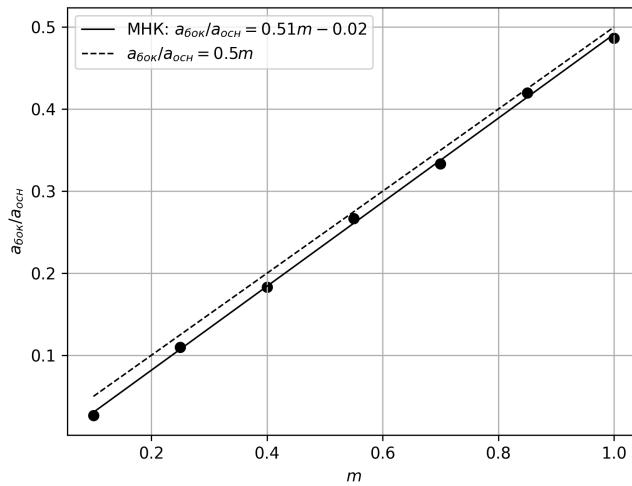


Рис. 4: График зависимости  $a_{бок}/a_{осн}$  от  $m$

Полученные данные сходятся с теоретической зависимостью

### 3.4. Исследование фильтрации сигналов

26. Для  $RC$ -цепочки рассчитаем ее характерное время  $\tau_{RC} = RC = 3$  мкс и соответствующую частоту  $\nu_{RC} = 1/\tau_{RC} = 333$  кГц. Соберем схему и подадим на вход последовательность прямоугольных импульсов с периодом повторения  $T \sim \tau_{RC}$  и длительностью  $\tau \sim T/20$ .
27. Пронаблюдаем спектр на выходе  $RC$ -цепочки при различных значениях периода повторения  $T$ .

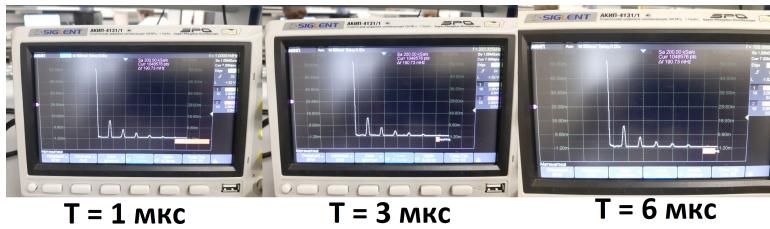


Рис. 5: Спектр фильтрованного сигнала при различных значениях периода повторения

28. Проведем измерения отношений амплитуд соответствующих спектральных гармоник фильтрованного и исходного сигналов:  $K_n = |a_n^\Phi|/|a_n^0|$ .
29. Построим график зависимости амплитудного коэффициента фильтрации  $K(\nu)$  от частоты  $\nu = n\nu_0$ . По полученной зависимости определим временную постоянную  $RC$ -цепочки  $\tau_{RC}$ . Также определим теоретическую зависимость  $K_n(\nu)$ . Известно, что после фильтрации:

$$g(t) = \frac{1}{\tau_{RC}} \int_0^t f(t') dt'$$

. Найдем спектр такой функции при  $T = \tau_{RC}$ ,  $\tau = \tau_{RC}/20$ ,  $k = 2\pi\nu$ :

$$\begin{aligned} |a_n^\Phi| &= \frac{1}{\tau_{RC}^2} \left| \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} \int_0^t f(t') e^{-in\omega_0 t} dt' dt \right| = \frac{1}{\tau_{RC}^2} \left| \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} t e^{-in\omega_0 t} dt \right| = \\ &= \frac{\pi\nu\tau \cos \pi\nu\tau - \sin \pi\nu\tau}{2(\pi\nu\tau_{RC})^2} \end{aligned}$$

Спектр  $a_n^0$  изначальной функции  $f(t)$  нам известен:  $|a_n^0| = \frac{\sin \pi\nu\tau}{\pi\nu\tau_{RC}}$ . Найдем  $K_n$ :

$$K_n = \frac{|a_n^\Phi|}{|a_n^0|} = \frac{\pi\nu\tau \cos \pi\nu\tau - \sin \pi\nu\tau}{2(\pi\nu\tau_{RC})^2} \cdot \frac{\pi\nu\tau_{RC}}{\sin \pi\nu\tau} = \frac{\tau}{2\tau_{RC}} \left( \operatorname{ctg} \pi\nu\tau - \frac{1}{\pi\nu\tau} \right)$$