

Московский Физико-Технический Институт  
(государственный университет)

---

## Работа 3.6.1

---

Сибгатуллин Булат, ФРКТ

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

text

**В работе используются:** анализатор спектра б генератор прямоугольных импульсов и сигналов специальной формы, осциллограф.

text

## Описание работы

В работе изучается спектральный состав периодических электрических сигналов различной формы: последовательность прямоугольных импульсов, последовательности цугов и амплитудно-модулированных колебаний. Спектры этих сигналов наблюдаются с помощью анализатора спектра и сравниваются с рассчитанными теоретически.

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

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{in\omega_0 t} \quad \text{или} \quad f = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t + \phi_n).$$

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

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

Наборы коэффициентов разложения в комплексной  $c_n$  и действительной  $a_n, \phi_n$  формах связаны соотношением:

$$a_n = 2|c_n|, \quad \phi_n = \arg c_n.$$

В качестве простейшего спектрального анализатора можно использовать высокочастотный колебательный контур с подстраиваемой ёмкостью или индуктивностью. Такой контур усиливает те гармоники входного сигнала  $f(t)$ , частота которых близка к резонансной  $\nu_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$  и практически не реагируют на частоты, далёкие от  $\nu_0$ . С точки зрения преобразования гармоник колебательный контур является узкополосным фильтром с шириной полосы пропускания порядка  $\Delta \sim \nu_0/Q$ , где  $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \gg 1$  - его добротность. 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

Функциональный генератор WaveStation 2012 позволяет сформировать два различных электрических сигнала, которые выводятся на два независимых канала – "CH1" и "CH2". Сигнал с канала "CH1" подается на вход "А" а сигнал с канала "CH2" – на вход "В" USB-осциллографа. Затем эти сигналы подаются на вход компьютера через USB-соединение. При работе USB-осциллографа в режиме осциллографа, на экране компьютера можно наблюдать каждый из сигналов в отдельности, а также их произведение. В режиме спектроанализатора можно наблюдать спектры этих сигналов. При включении функционального

Схема установки приведена на рис. 1.



Рис. 1

генератора, на его экране отображается информация о параметрах электрического сигнала.

## Ход работы

### А

1. Соберем и запустим установку. Установим на анализаторе спектра режим работы с однократной разверткой и получим на экране спектр импульсов с параметрами:
  - а)  $f_{\text{повт}} = 10^3$  Гц;  $\tau = 25$  мкс; частотный масштаб  $m_x = 5$  кГц/дел.
  - б)  $f_{\text{повт}} = 10^3$  Гц;  $\tau = 50$  мкс; частотный масштаб  $m_x = 5$  кГц/дел.
  - в)  $f_{\text{повт}} = 2 \cdot 10^3$  Гц;  $\tau = 25$  мкс; частотный масштаб  $m_x = 5$  кГц/дел.

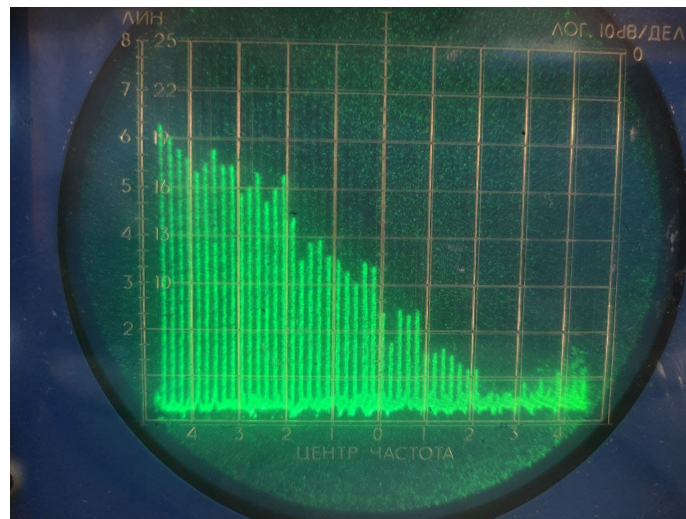


Рис. 1:  $f_{\text{повт}} = 10^3$  Гц;  $\tau = 25$  мкс

2. Проведем измерения зависимости ширины спектра от длительности импульса  $\Delta\nu(\tau)$  при увеличении  $\tau$  от 25 до 200 мкс. Запишем данные в таблицу.
3. Зарисуем спектры с параметрами  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц:
  - а)  $\tau = 50$  мкс
  - б)  $\tau = 100$  мкс

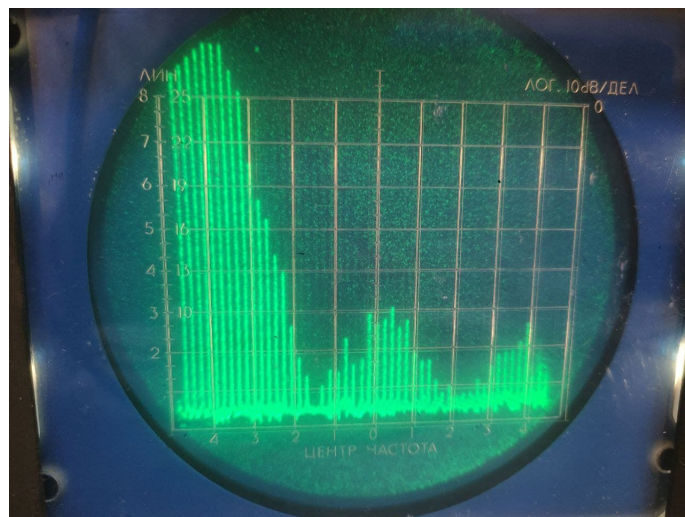


Рис. 2:  $f_{\text{повт}} = 10^3$  Гц;  $\tau = 50$  мкс

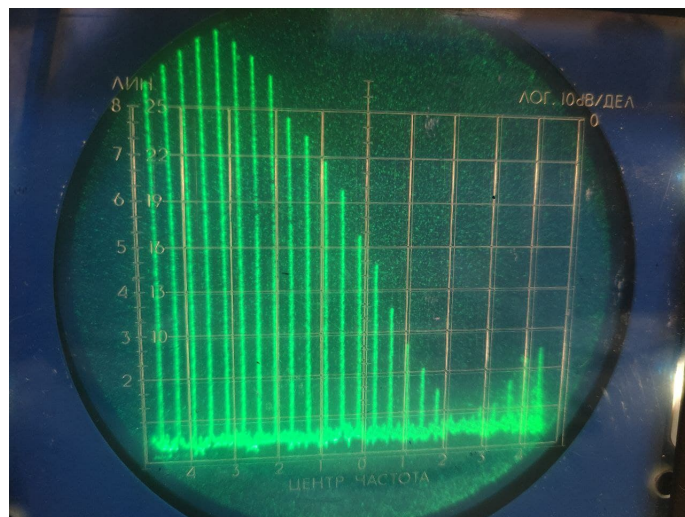


Рис. 3:  $f_{\text{повт}} = 2 \cdot 10^3$  Гц;  $\tau = 25$  мкс

$\Delta\nu$ , кГц	$\tau$ , мкс
32,5	25
17,5	50
12	75
8	100
7	125
6	150
5	175
4	200

4. Построим график зависимости  $\Delta\nu(1/\tau)$  и по его наклону убедимся в том, что зависимость линейная:

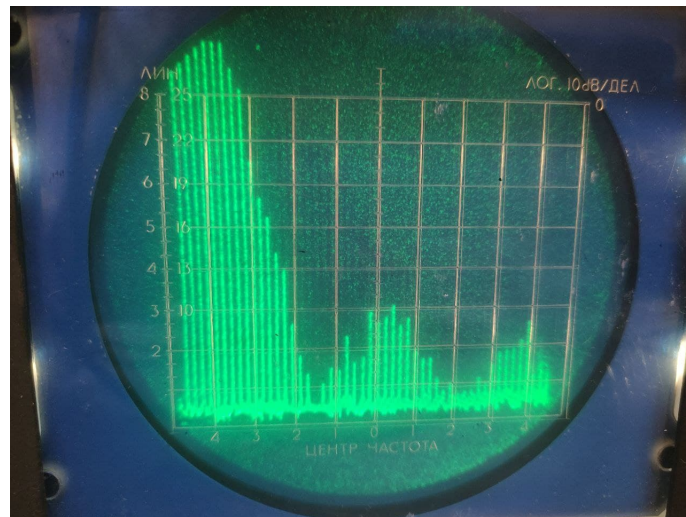


Рис. 4:  $f_{\text{повт}} = 10^3$  Гц;  $\tau = 50$  мкс

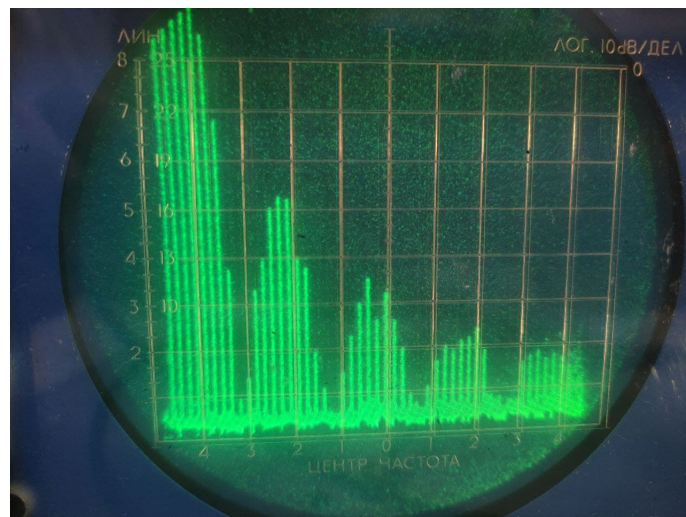


Рис. 5:  $f_{\text{повт}} = 10^3$  Гц;  $\tau = 100$  мкс

## Б

1. Изменим схему установки. Установим частоту несущей  $\nu_0 = 25$  кГц и проанализируем как изменяется вид спектра:
  - а) при увеличении длительности импульса вдвое ( $\tau = 50, 100$  мкс для  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц.
  - б) при изменении несущей частоты  $\nu_0$  (на генераторе Г6-34  $\nu_0 = 25, 10$  или  $40$  кГц) при фиксированных значениях  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц,  $\tau = 100$  мкс.

## Зависимость $\Delta\nu(1/\tau)$

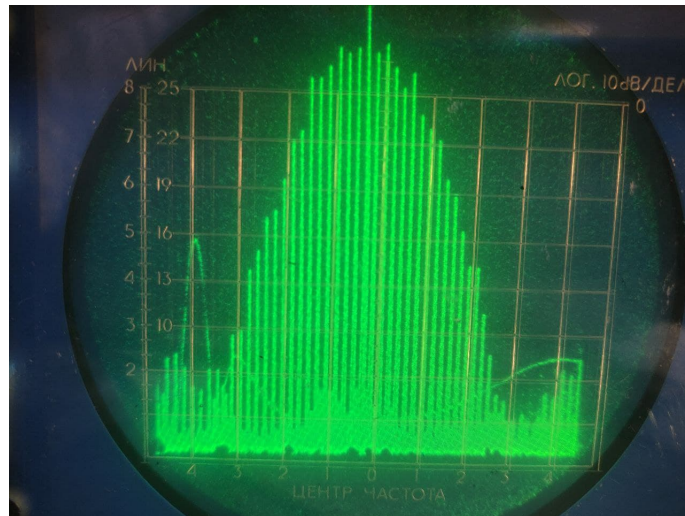
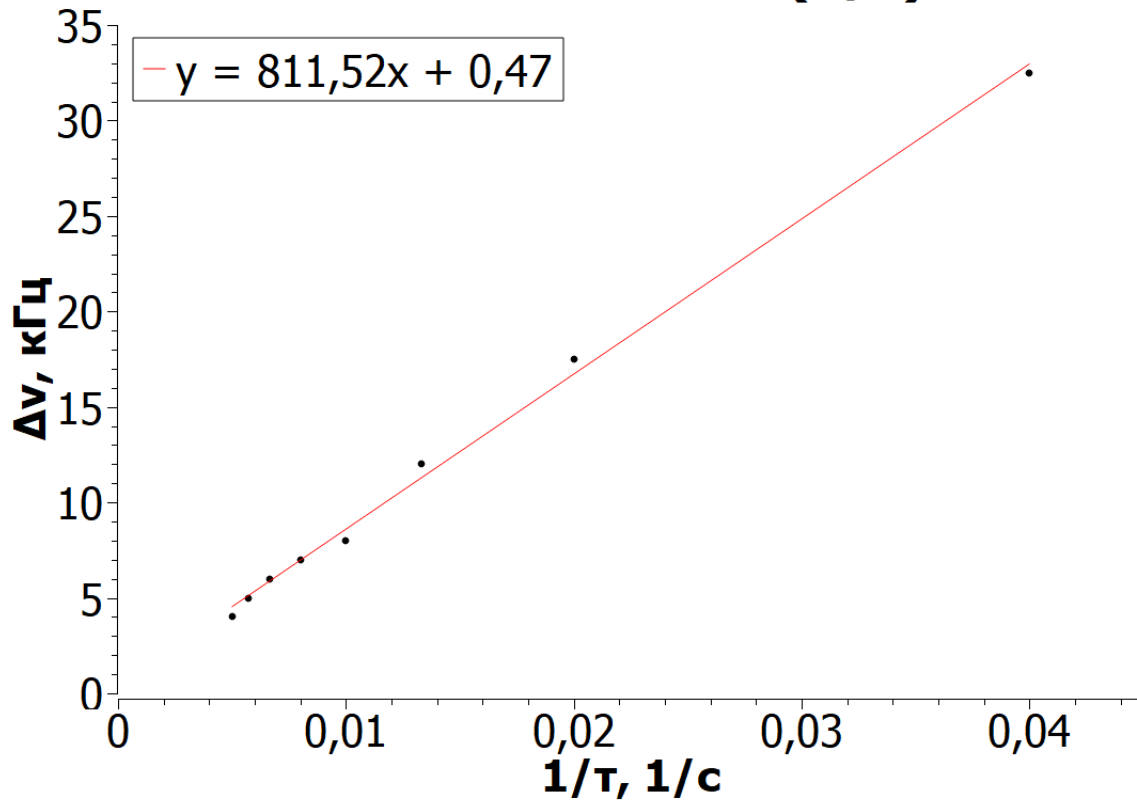


Рис. 6:  $f_{\text{повт}} = 10^3$  Гц,  $\tau = 50$  мкс,  $\nu_0 = 25$  кГц

- При фиксированной длительности импульсов  $\tau = 50$  мкс исследуем зависимость расстояния  $\delta\nu$  между соседними спектральными компонентами от периода  $T$  (частоты повторения импульсов  $f_{\text{повт}}$ ). Запишем данные в таблицу:



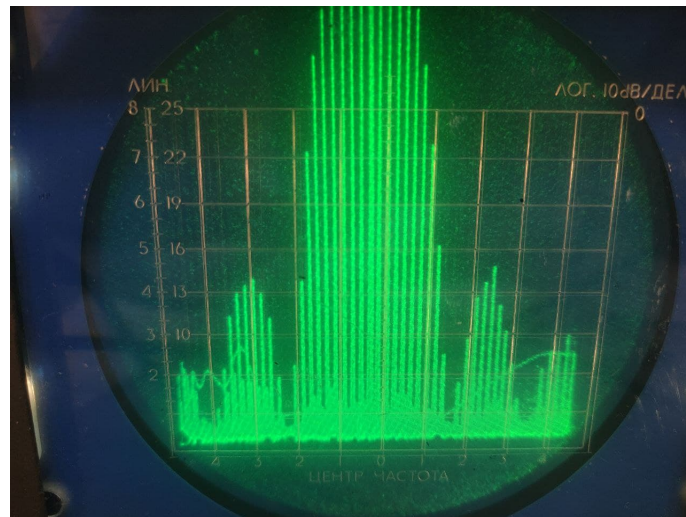


Рис. 7:  $f_{\text{повт}} = 10^3$  Гц,  $\tau = 100$  мкс,  $\nu_0 = 25$  кГц

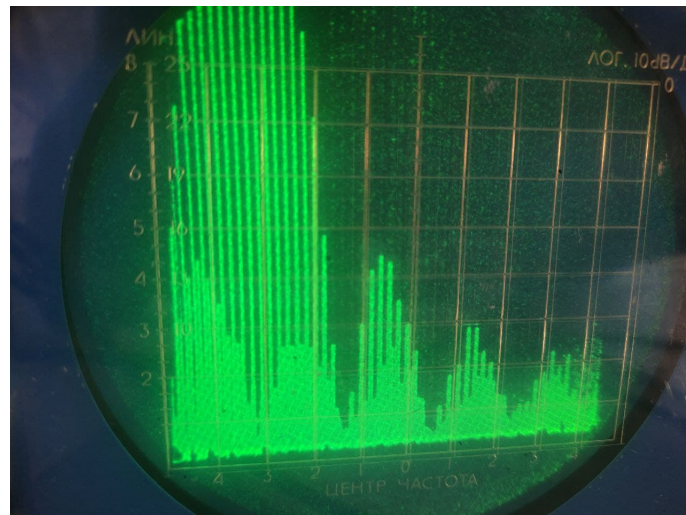


Рис. 8:  $f_{\text{повт}} = 10^3$  Гц,  $\tau = 100$  мкс,  $\nu_0 = 10$  кГц

3. Посмотрим на спектры цугов с параметрами  $\tau = 100$  мкс,  $m_x = 5$  кГц/дел:

а)  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц

б)  $f_{\text{повт}} = 2$  кГц

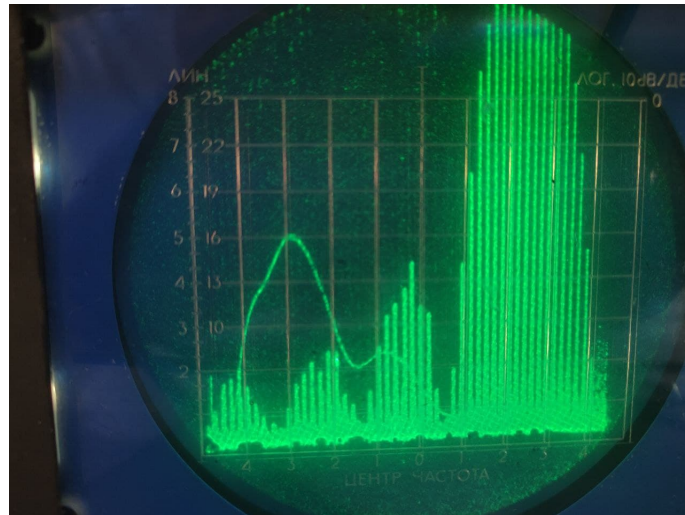


Рис. 9:  $f_{\text{повт}} = 10^3$  Гц,  $\tau = 100$  мкс,  $\nu_0 = 40$  кГц

$\Delta \nu$ , кГц	$f$ , кГц
1	1
3	3
4	4
6	6
7	7
8	8

Рис. 10: Зависимость  $\Delta \nu(T)$

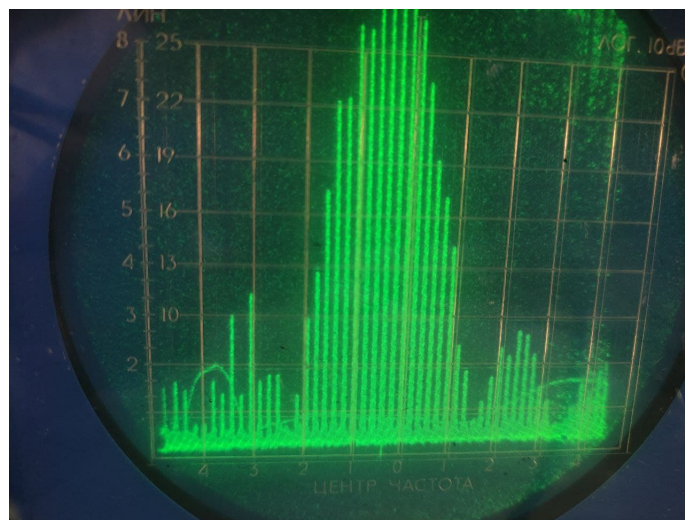


Рис. 11:  $f_{\text{повт}} = 10^3$  Гц,  $\tau = 100$  мкс,  $\nu_0 = 25$  кГц

4. Построим график  $\Delta \nu(f_{\text{повт}})$ :



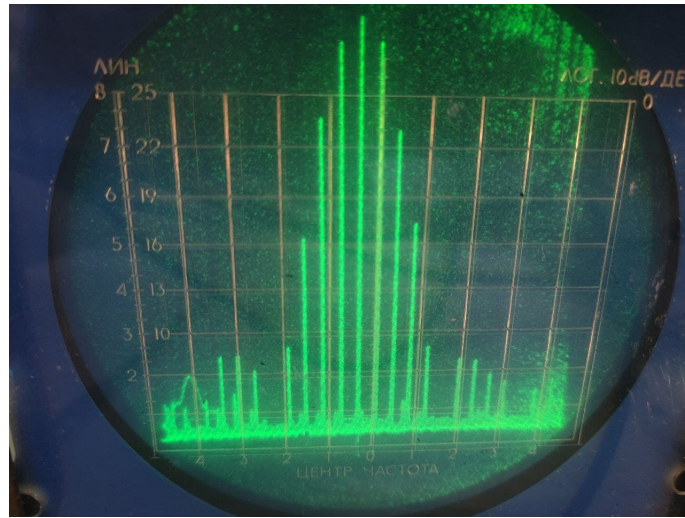
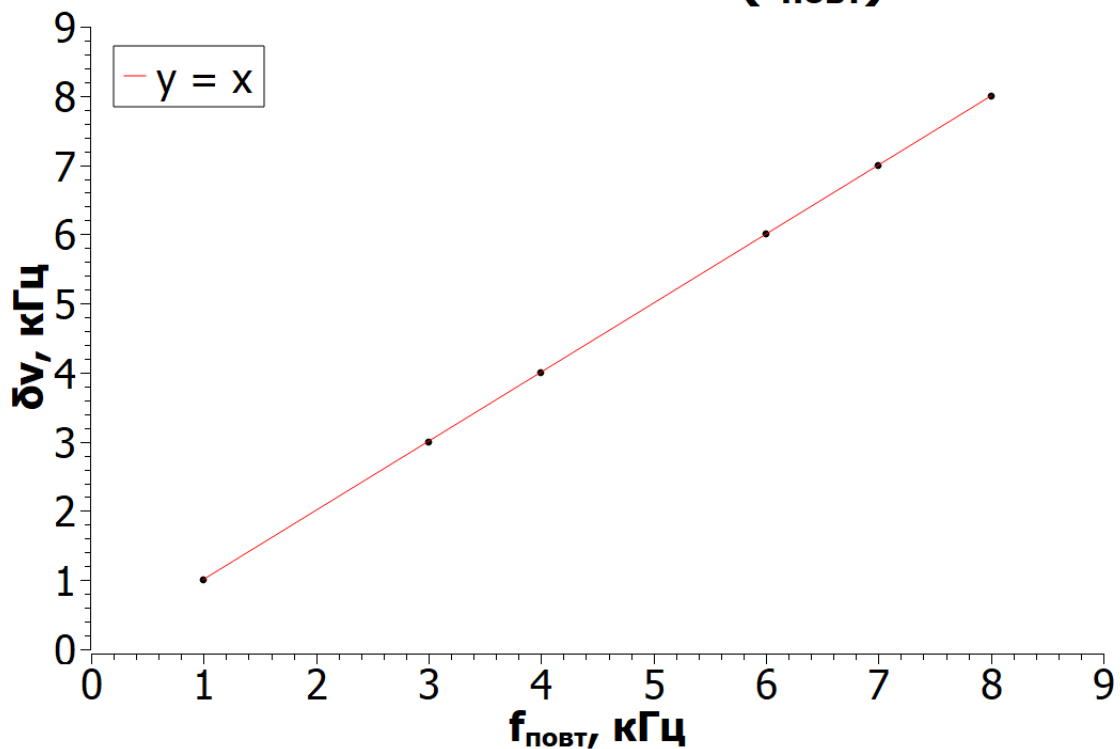


Рис. 12:  $f_{\text{повт}} = 2 \cdot 10^3$  Гц,  $\tau = 100$  мкс,  $\nu_0 = 25$  кГц

## Зависимость $\delta\nu(f_{\text{повт}})$



В

1. Соберем схему изображенную на рисунке.



2. Изменяя глубину модуляции исследуем зависимость отношения амплитуды боковой линии спектра к амплитуде основной линии ( $a_{\text{бок}}/a_{\text{осн}}$ ) от глубины модуляции  $m$ , вычисляемой по формуле:

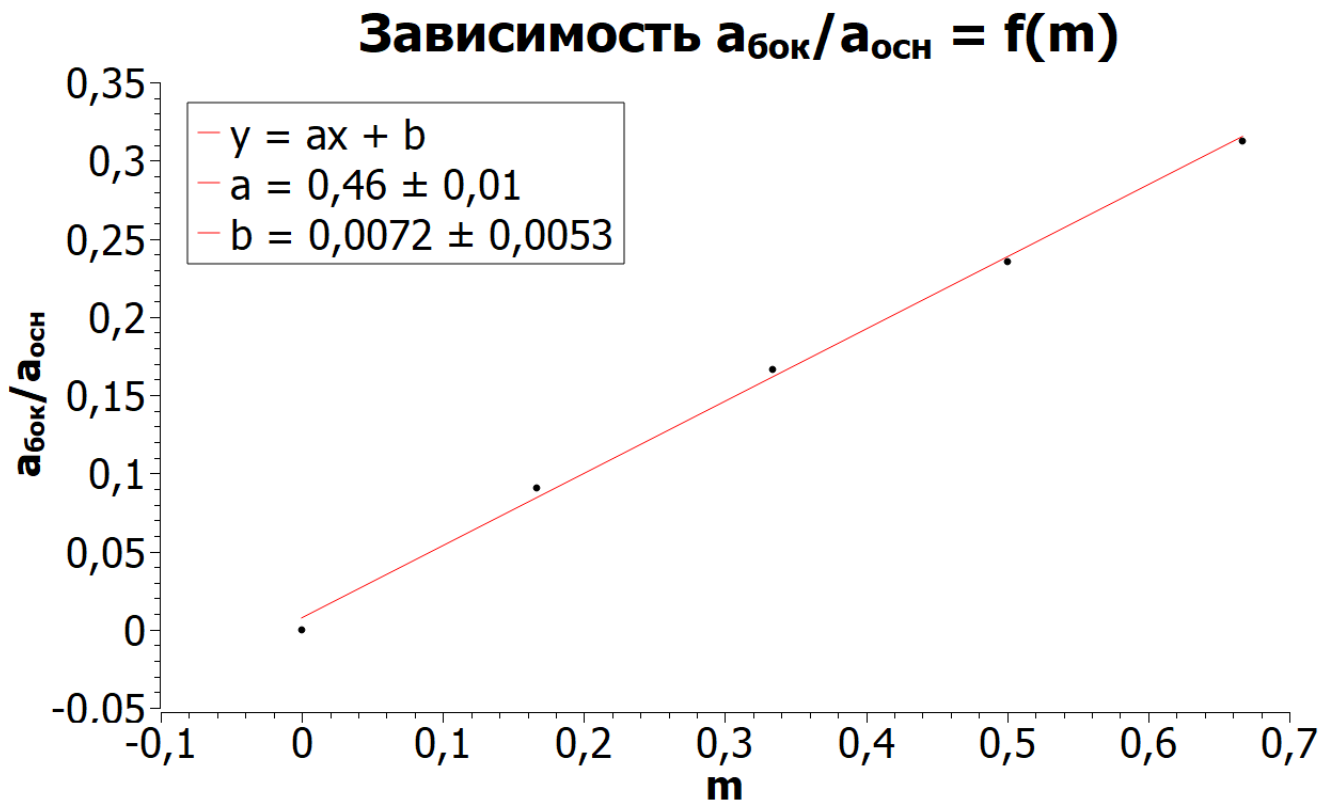
$$m = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}$$

Запишем данные в таблицу:

2A_max	2A_min	m	a_бок/a_осн
2,4	0	1	0,35335689
2	0,4	0,666667	0,3125
1,8	0,6	0,5	0,235294118
1,6	0,8	0,333333	0,166666667
1,4	1	0,166667	0,090909091
1,2	1,2	0	0

Рис. 13: Зависимость  $a_{\text{бок}}/a_{\text{осн}} = f(m)$

3. По полученным данным построим график  $a_{\text{бок}}/a_{\text{осн}} = f(m)$ :  $\pm$



Получаем значение углового коэффициента наклона:

$$a = 0,46 \pm 0,01,$$

что примерно совпадает с теоретическим значением для данной величины.