

Изучение плазмы газового разряда в неоне

Каспаров Николай, Б01-304

October 26, 2024

Цель работы:

- изучить спектральный состав периодических электрических сигналов

1 Ход работы

1.1 Настройка генерации прямоугольных импульсов и анализ их спектра

Частота повторения импульсов: $\nu = 1$ кГц

Длительность импульса: $\tau = T/20 = 50$ мкс

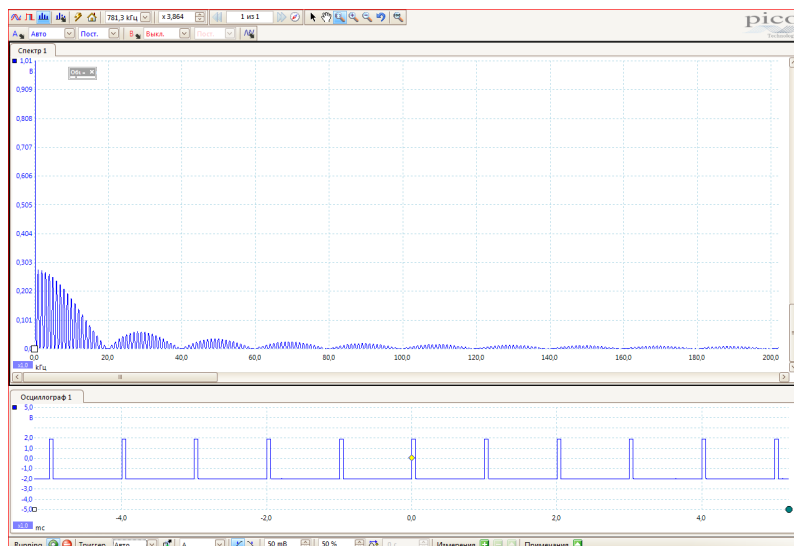


Рисунок 1: Прямоугольный сигнал 2 кГц

Будем экспериментировать с импульсами разной длины и с разными частотами повторения.

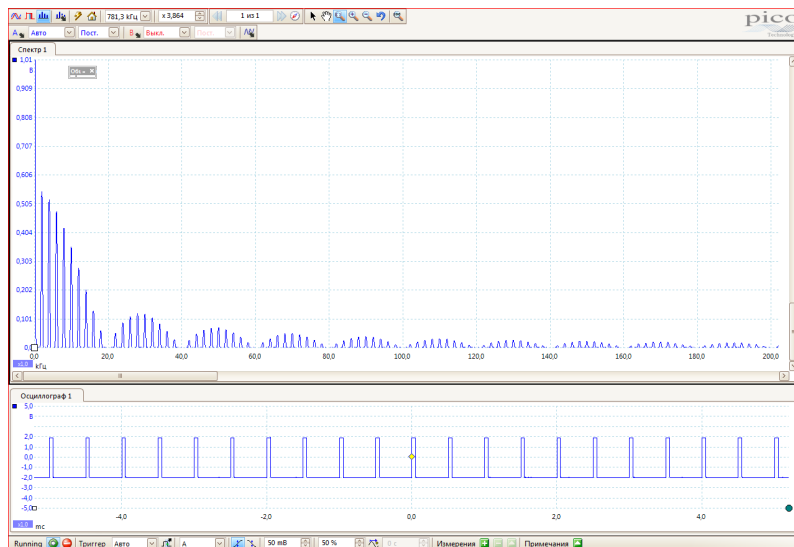


Рисунок 2: Прямоугольный сигнал 2 кГц

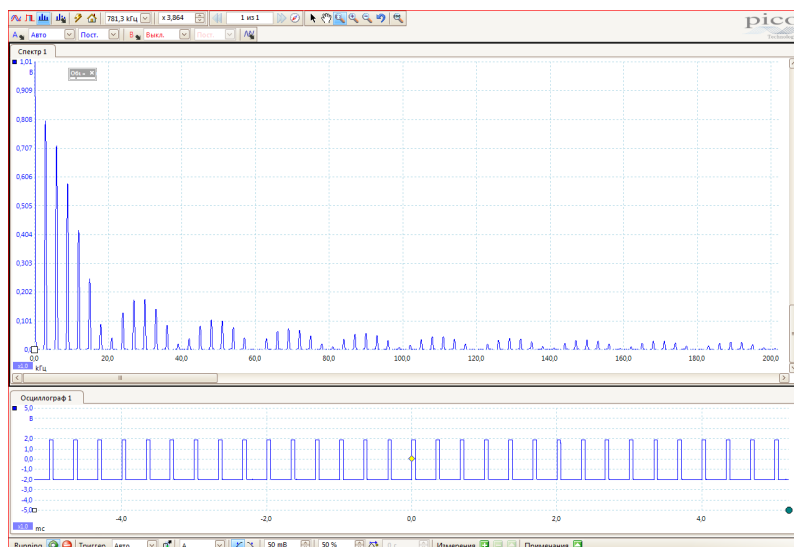


Рисунок 3: Прямоугольный сигнал 3 кГц

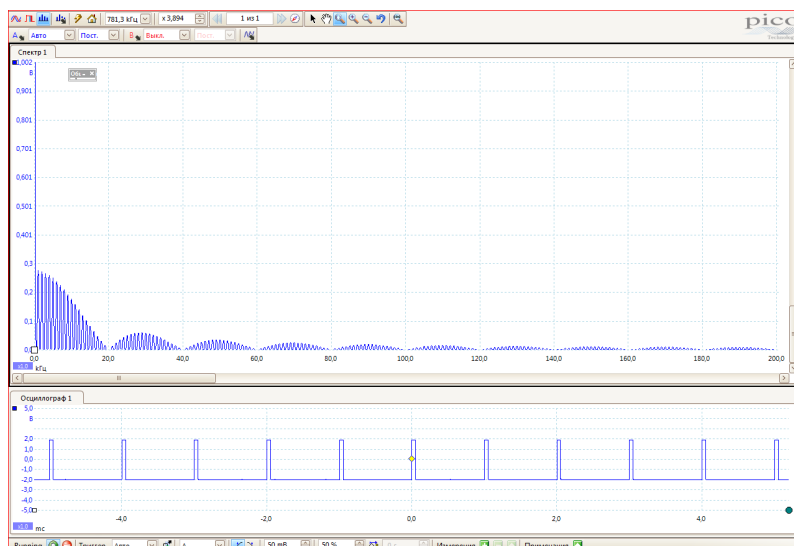


Рисунок 4: Прямоугольный сигнал $\tau = 50$ мкс

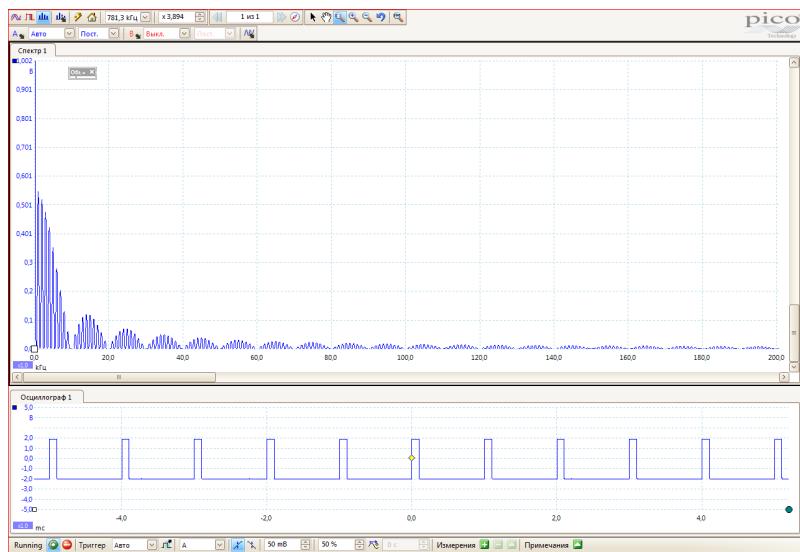


Рисунок 5: Прямоугольный сигнал $\tau = 100$ мкс

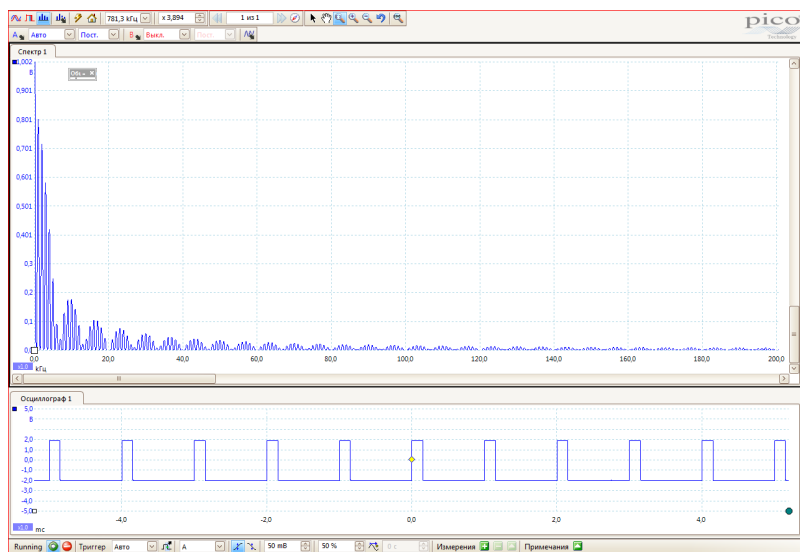


Рисунок 6: Прямоугольный сигнал $\tau = 150$ мкс

Как мы можем видеть, спектр находится в соответствии с формулой для гармоник спектра прямоугольных сигналов:

$$c_n = \frac{\tau}{T} \frac{\sin n\omega_0\tau/2}{n\omega\tau/2} \quad (1)$$

1.2 Измерение амплитуд и частот гармоник

При фиксированных параметрах $\nu_{\text{повт}} = 1$ кГц и $\tau_{\text{повт}} = 50$ мкс были измерены амплитуды a_n и частоты ν_n нескольких спектральных компонент (гармоник). Эти значения были сопоставлены с теоретически рассчитанными на основе соотношений:

Поскольку единицы измерения амплитуд гармоник произвольны, для сравнения использовались относительные величины, например $|a_n/a_1|$. Полученные экспериментальные данные занесены в таблицу ??.

n	1	2	3	4	5	6	7
$\nu_n^{\text{эксп}}, \text{ Гц}$	1	2	3	4	5	6	7
$\nu_n^{\text{теор}}, \text{ Гц}$	1	2	3	4	5	6	7
$ a_n ^{\text{эксп}}, \text{ усл. ед.}$	277	273	267	260	250	238	226
$ a_n/a_1 ^{\text{эксп}}$	1.00	0.99	0.96	0.94	0.90	0.86	0.82
$ a_n/a_1 ^{\text{теор}}$	1.00	0.99	0.97	0.94	0.90	0.86	0.81

Таблица 1: Измерение характеристик спектра прямоугольного сигнала

Также были измерены ширины спектра, данные занесены в таблицу 2.

Таблица 2: Измерение ширины спектра $\nu = 1$ кГц, $\tau = 50$ мкс

$\tau, \text{ мкс}$	$\Delta\nu, \text{ кГц}$
20	50
60	16.6
100	10
150	6.6
200	5

Также были измерены расстояния между гармониками:

При фиксированной длительности импульса $\tau = 100$ мкс были проведены измерения расстояний $\delta\nu = \nu_{n+1} - \nu_n$ между соседними гармониками спектра при изменении периода повторения T в диапазоне от 2τ до 50τ , данные занесены в таблицу 3.

Таблица 3: Измерение расстояния между гармониками

$T, \text{ мс}$	$\nu_1, \text{ кГц}$	$\nu_2, \text{ кГц}$	$\Delta\nu, \text{ кГц}$
1	1.0	2.0	1.0
2	1.0	1.5	0.4
3	1.0	1.4	0.4
4	1.7	2.0	0.4
5	1.4	1.6	0.2

2 Анализ спектра синусоидального импульса

Был настроен генератор сигнала с несущей частотой $\nu_0 = 50$ кГц, периодом повторения $T = 1$ мс и числом периодов в одном импульсе $N = 5$

Отсюда следует, что $\nu_{\text{повт}} = 1/T = 1$ кГц

А длительность импульса $\tau = N/\nu_0 = 100$ мкс

Посмотрим на сигналы и спектры при стандартных параметрах, а также при изменении

Результаты соответствуют теоретическим данным.

$$c_n(\omega) = \frac{\tau}{2} \frac{\sin(n\omega_0\tau/2)}{n\omega\tau/2} \quad (2)$$

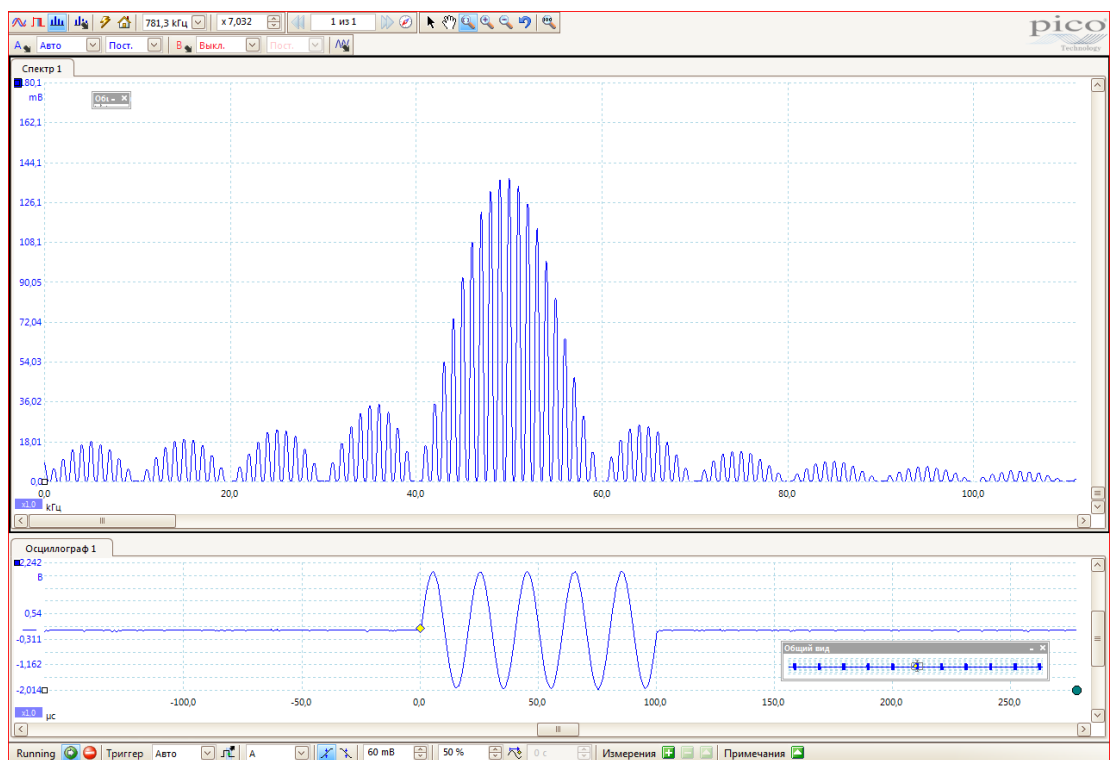


Рисунок 7: Синусоидальный импульс, стандартные параметры

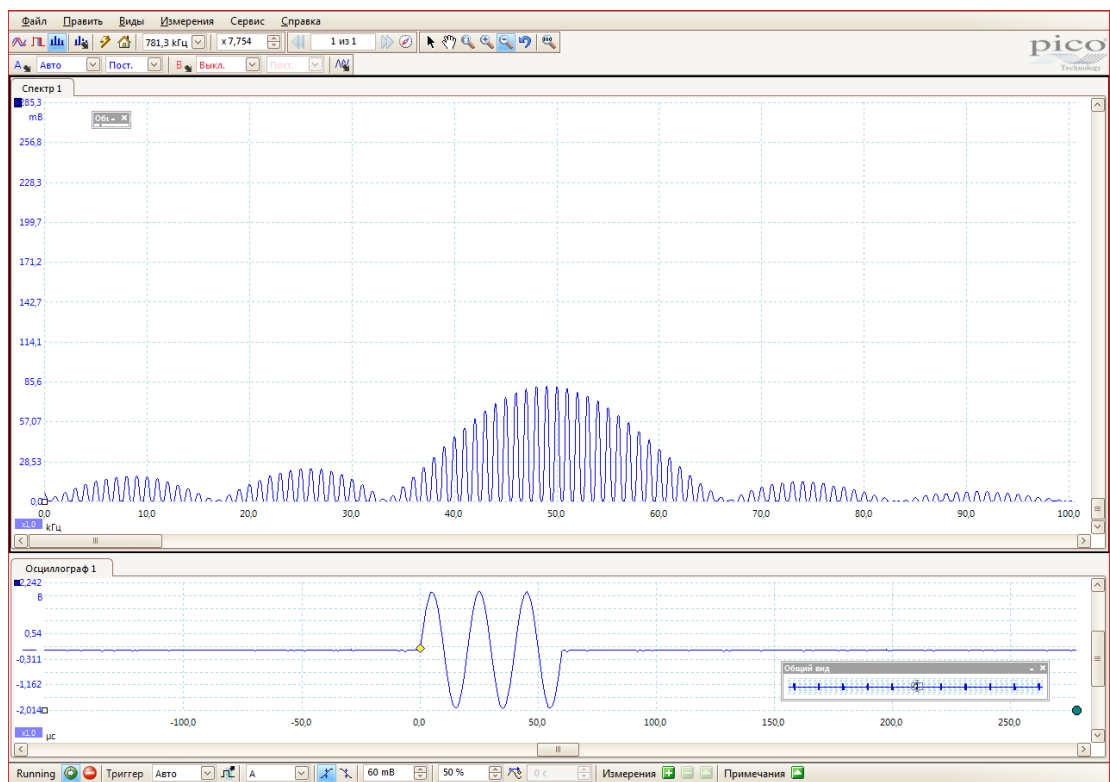


Рисунок 8: Синусоидальный импульс. $N = 3$

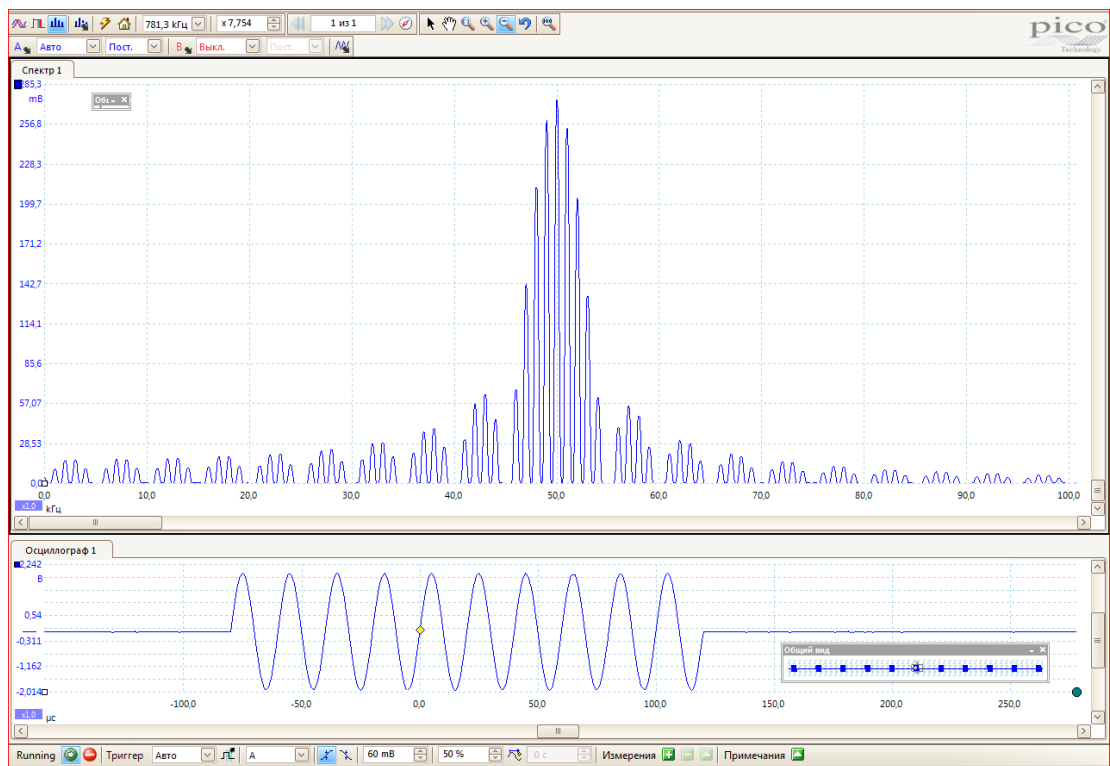


Рисунок 9: Синусоидальный импульс. $N = 10$

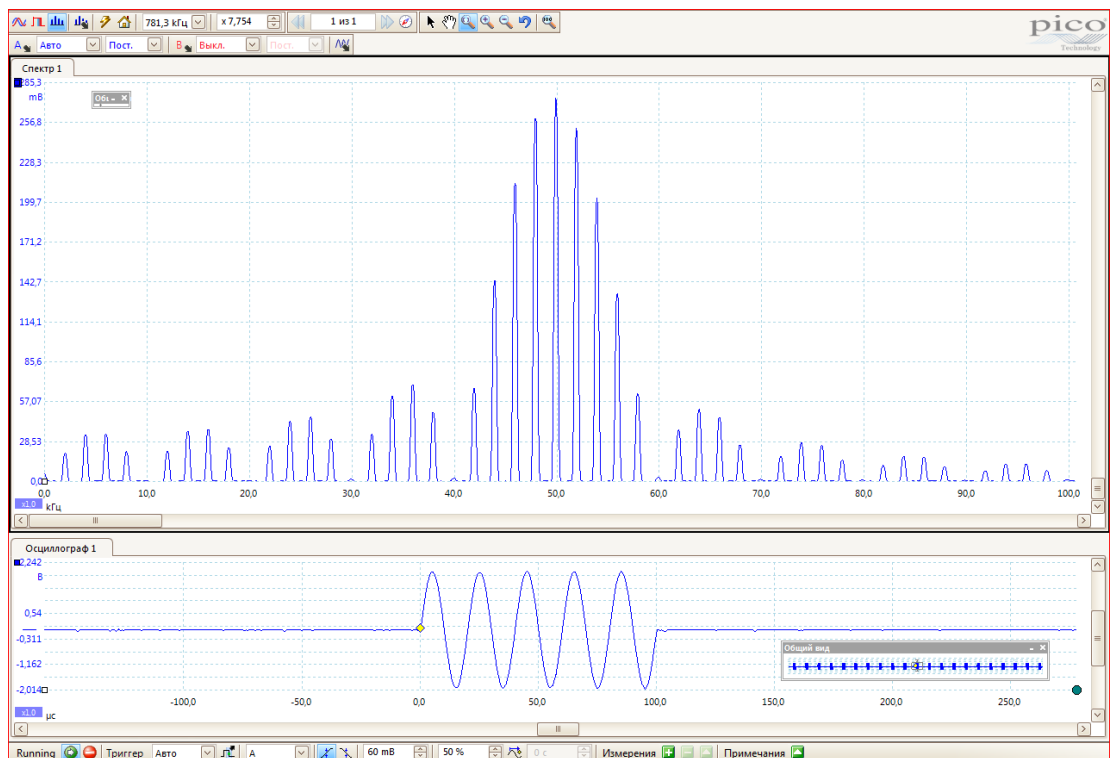


Рисунок 10: Синусоидальный импульс. $T = 500$ мкс

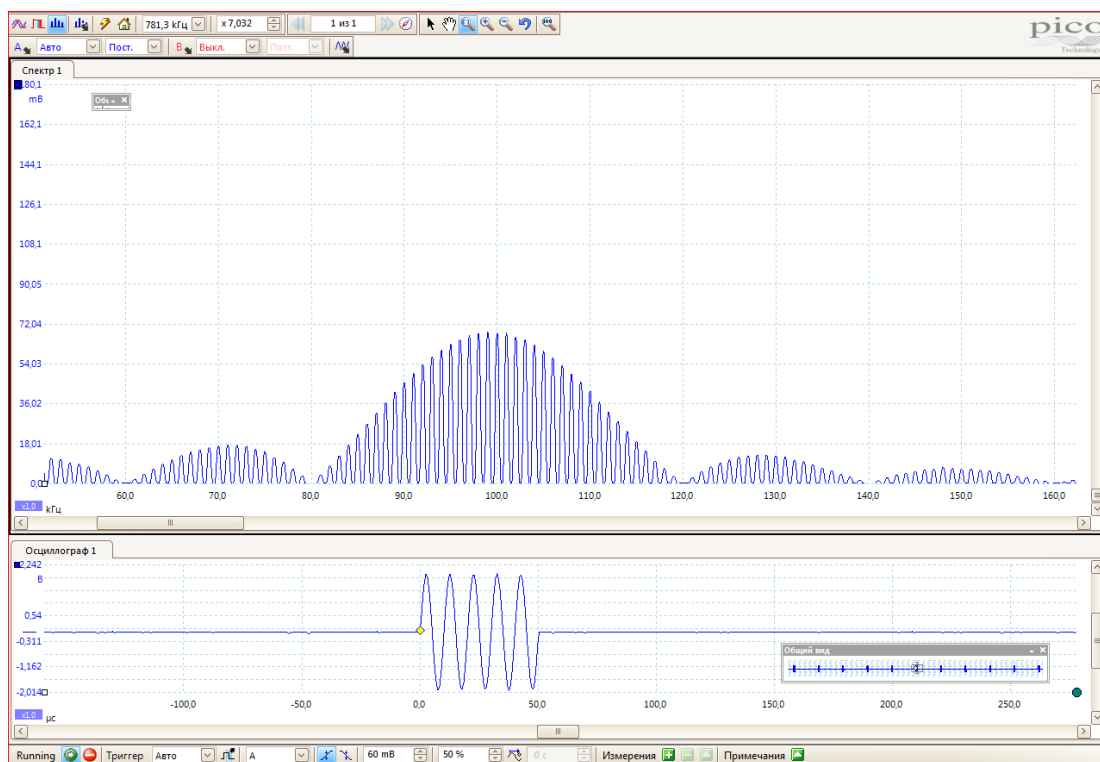


Рисунок 11: Синусоидальный импульс. $\nu_{\text{повт}} = 10 \text{ кГц}$

3 Спект амплитудно-модулированного синусоидального сигнала

Был настроен режим генерации амплитудно-модулированного синусоидального сигнала с $\nu_0 = 50$ кГц, частотой модуляции $\nu_{\text{мод}} = 2$ кГц, глубиной модуляции $m = 50\%$

Было проверено соотношение $m = \frac{A_{\text{max}} - A_{\text{min}}}{A_{\text{max}} + A_{\text{min}}}$, $A_{\text{max}} = 1.49\text{В}$, $A_{\text{min}} = 0.49\text{В}$, $m \approx 0.5$ - соотношение выполняется

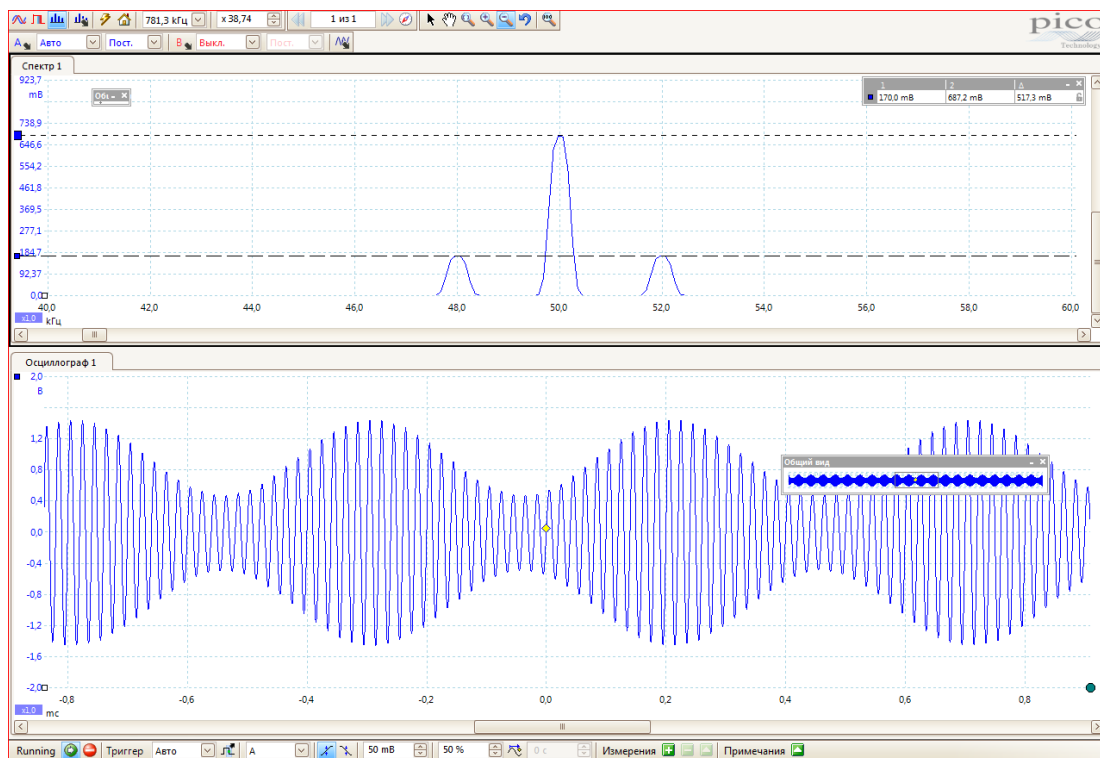


Рисунок 12: А-м импульс. Стандартные параметры

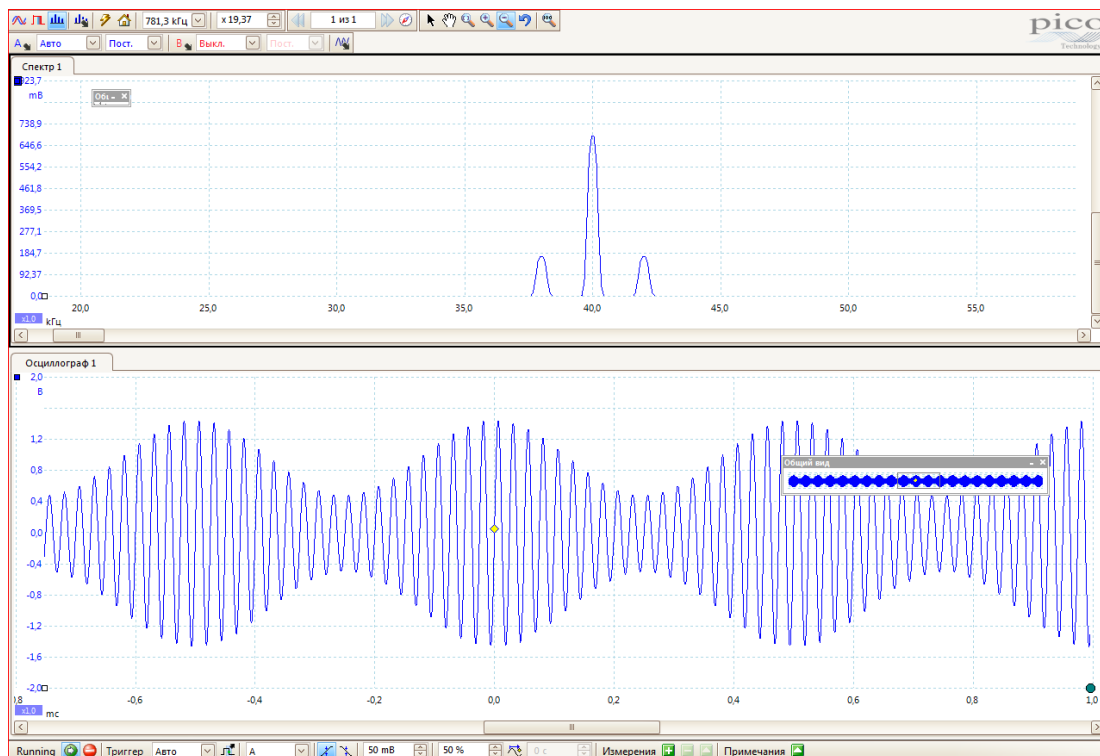


Рисунок 13: А-м импульс. $\nu = 40$ кГц

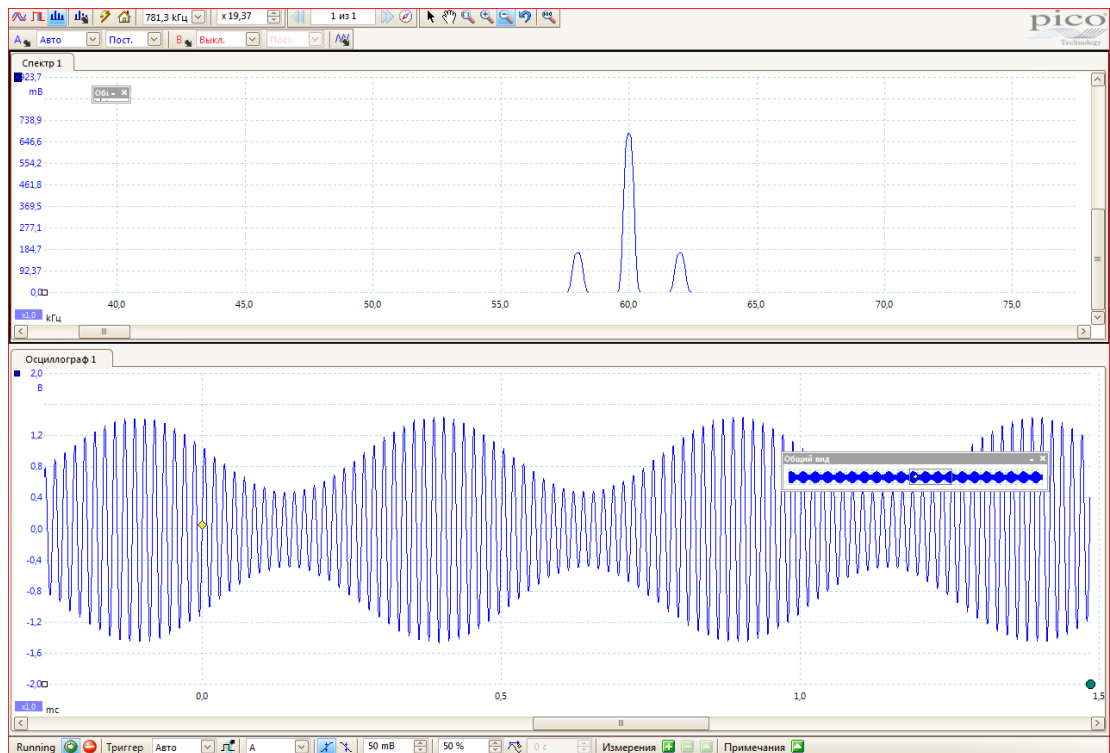


Рисунок 14: А-м импульс. $\nu = 60$ кГц

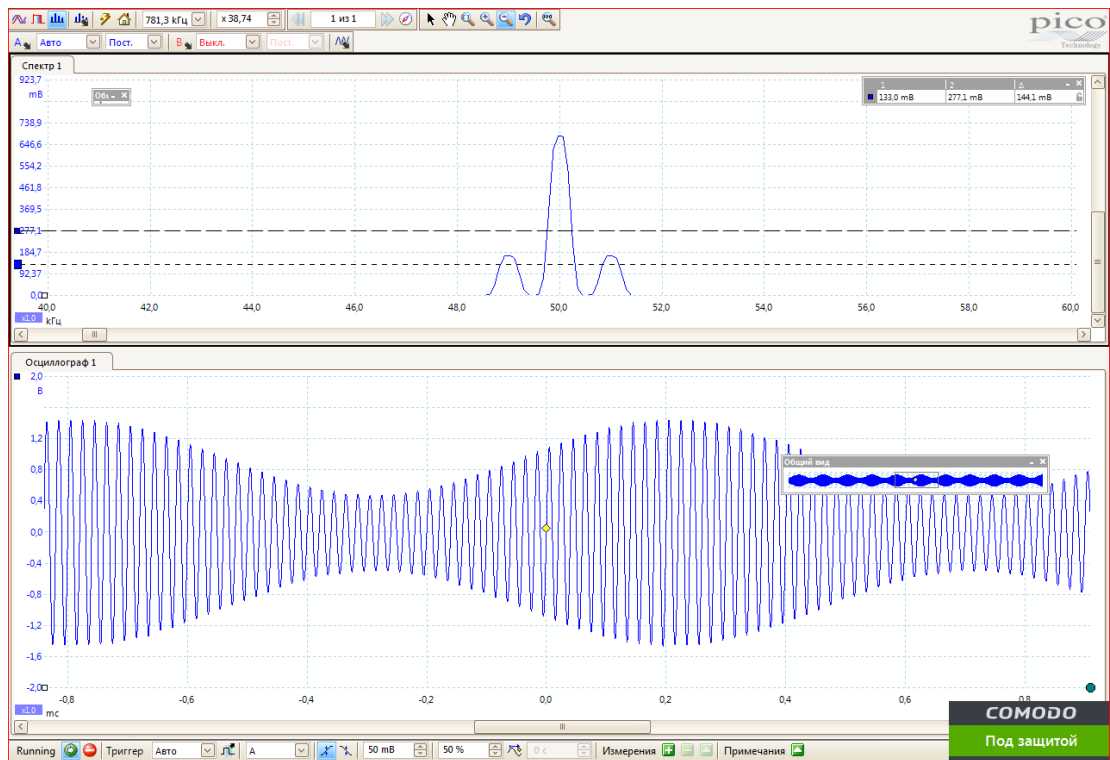


Рисунок 15: А-м импульс. $\nu_{\text{мод}} = 1$ кГц

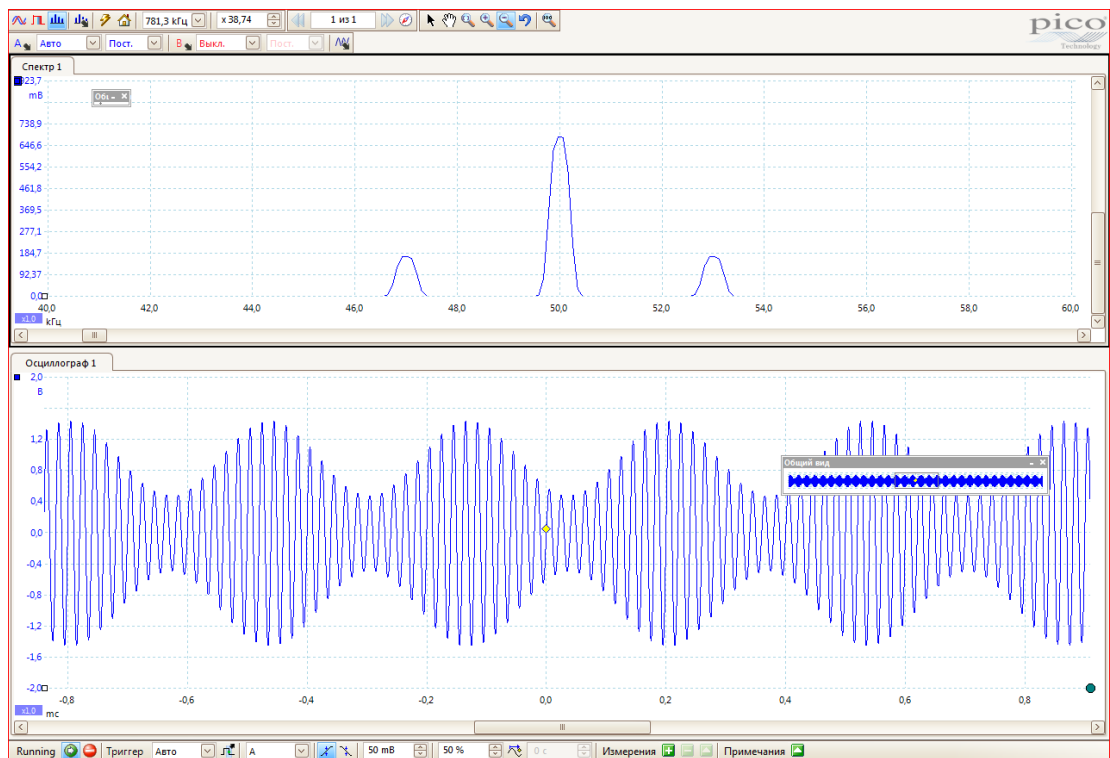


Рисунок 16: А-м импульс. $\nu_{\text{мод}} = 3 \text{ кГц}$

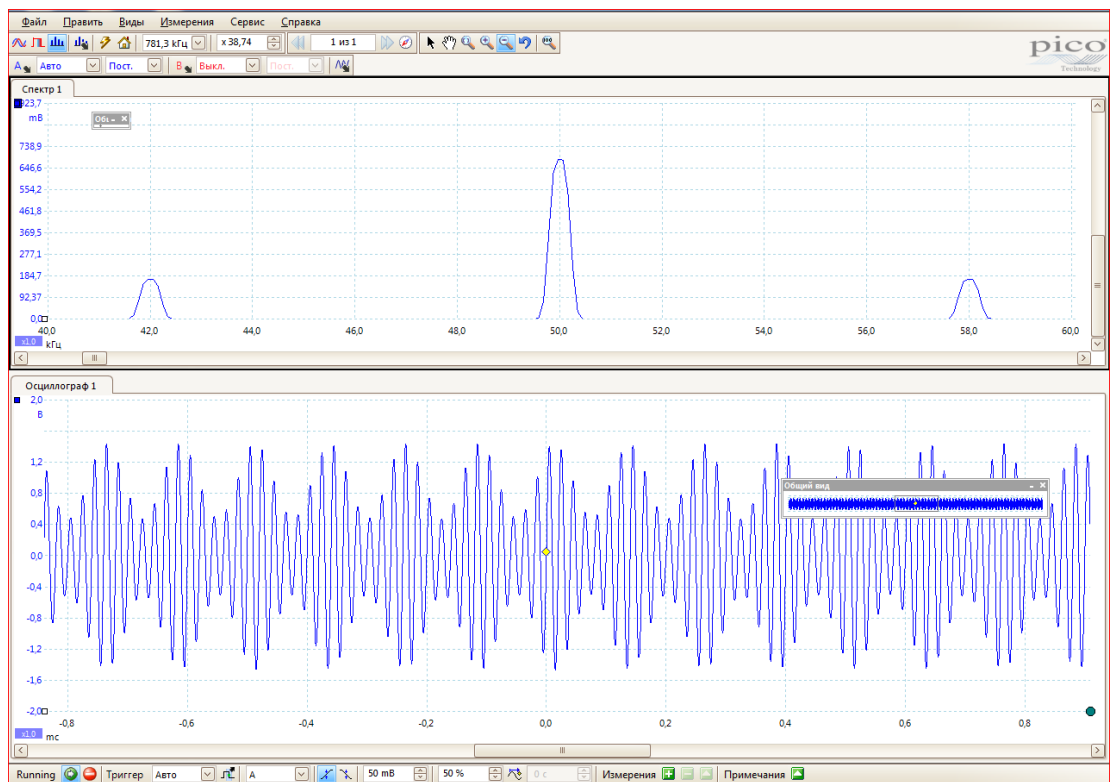


Рисунок 17: А-м импульс. $\nu_{\text{мод}} = 8 \text{ кГц}$

3.1 Измерение отношения амплитуд боковых и основной гармоник

Изменяя на генераторе глубину модуляции m в диапазоне от 10% до 100%, измерим отношение амплитуд боковой гармоники ($a_{бок}$) к основной гармонике ($a_{осн}$)

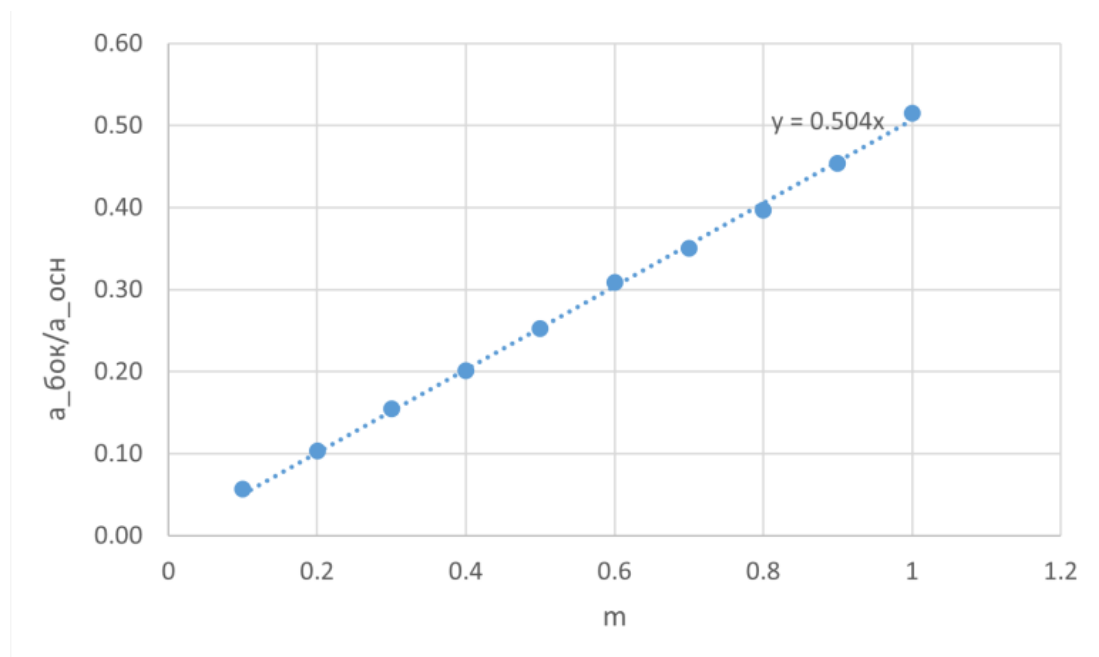


Рисунок 18: Зависимость отношения амплитуд боковых и основной гармоник

Из графика: $k = 0.50 \pm 0.01$ - что сходится с теорией

Е. Изучение фильтрации сигналов

Для RC-фильтра низких частот рассчитаем его характерную временную постоянную:

$$\tau_{RC} = R \cdot C = 3 \text{ мкс} \quad (3)$$

На вход интегратора были поданы прямоугольные импульсы с периодом повторения $T \approx \tau_{RC}$, $\tau \approx T/20$. Для разных T посмотрим спектр и сигнал на выходе фильтра.

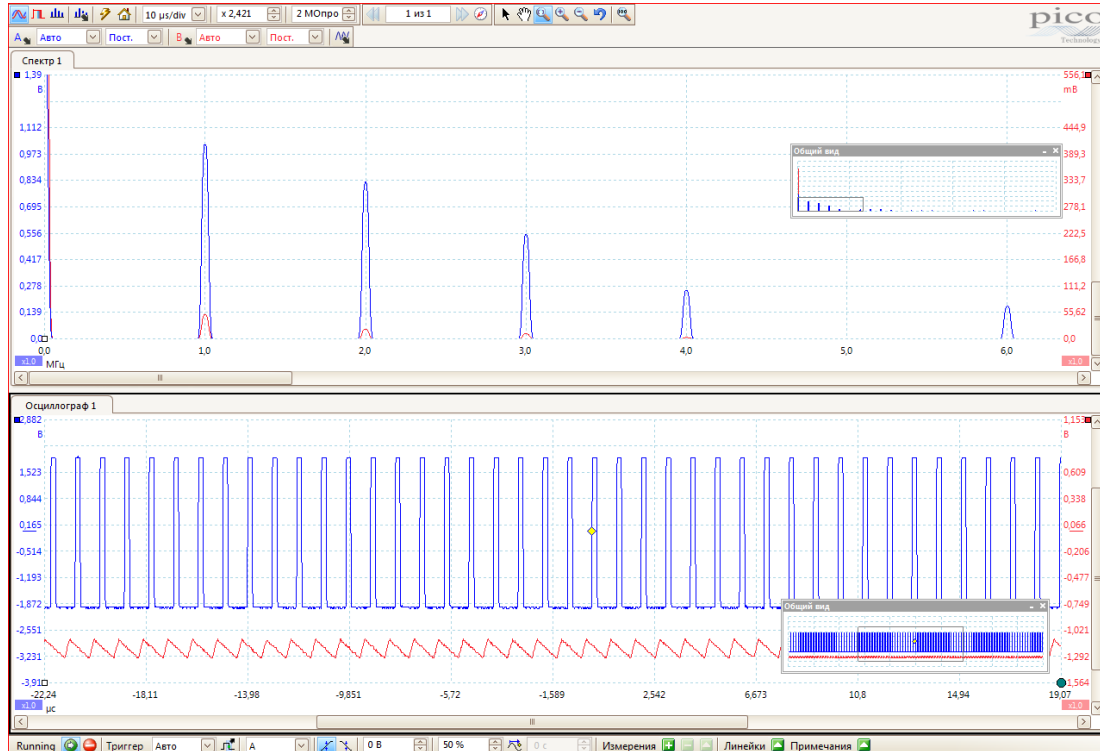


Рисунок 19: Выход RC-цепочки. $T = 1 \text{ мкс}$

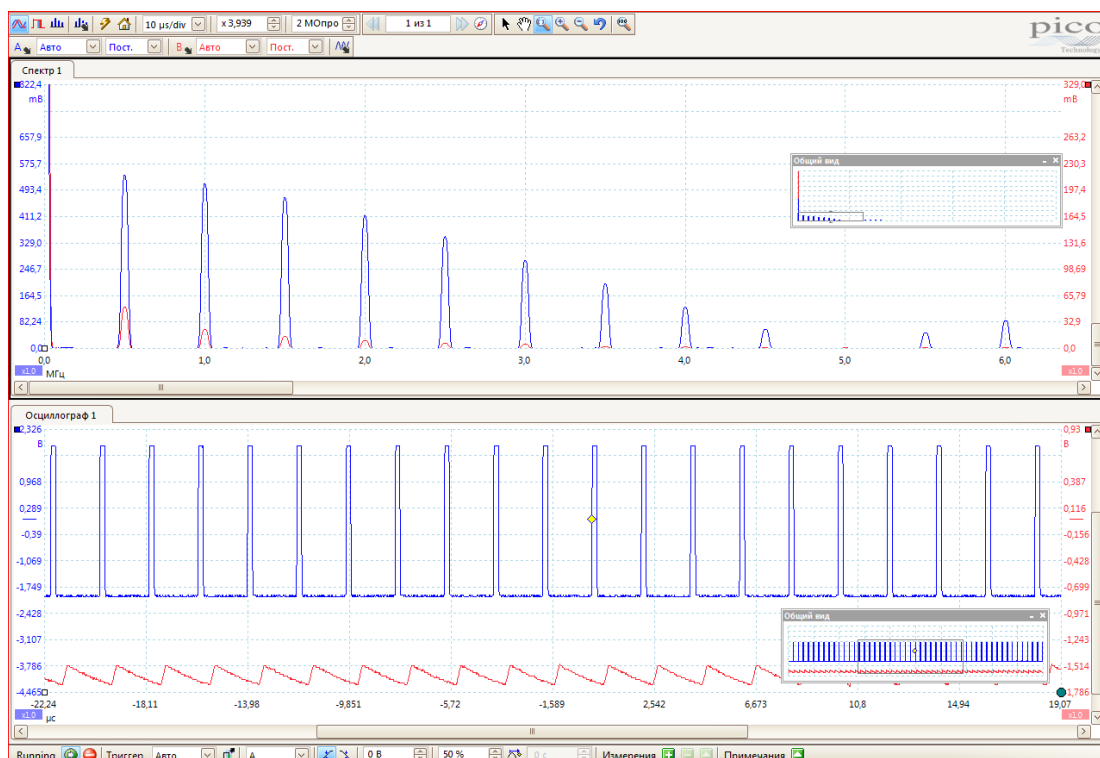


Рисунок 20: Выход RC-цепочки. $T = 2 \text{ мкс}$

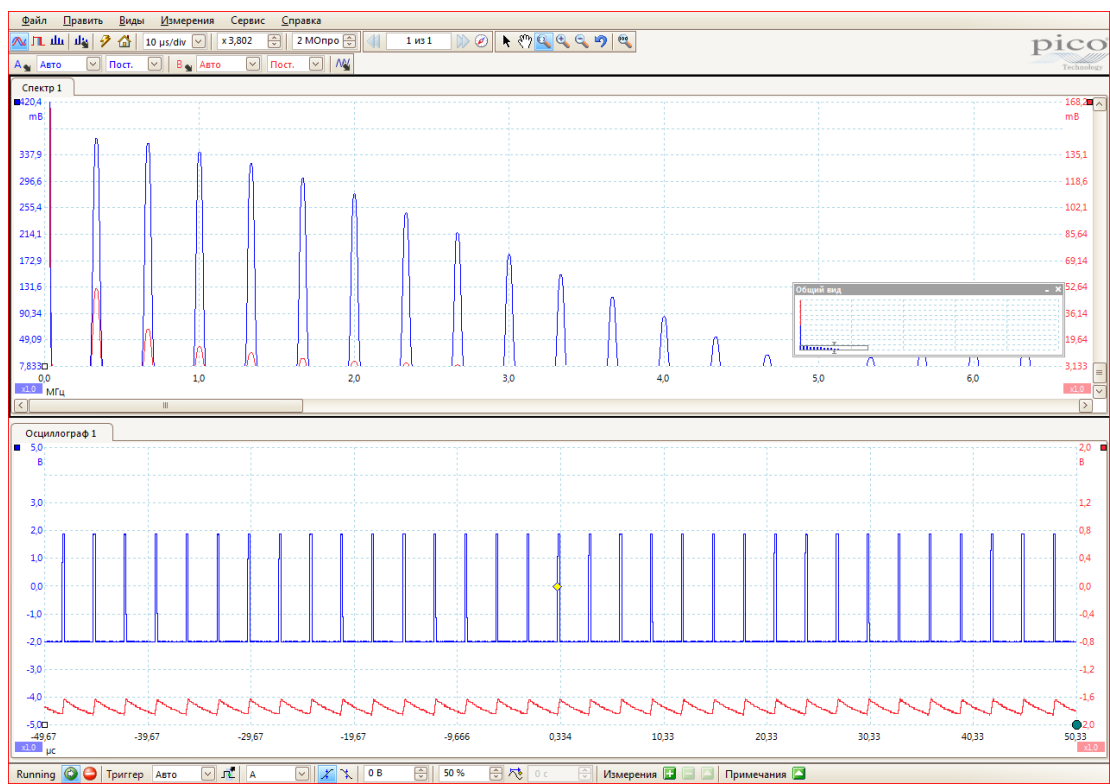


Рисунок 21: Выход RC-цепочки. $T = 3\text{ мкс}$

3.2 Измерение отношений амплитуд спектральных гармоник

При фиксированном значении периода T были проведены измерения отношений амплитуд соответствующих спектральных гармоник фильтрованного сигнала и исходного сигнала для 5 гармоник. Отношение амплитуд для n -й гармоники:

ν , кГц	$ a_n^\phi $, мВ	$ a_n^0 $, мВ	K_n
333	359.2	1019	0.35
666	154.6	827.6	0.18
1000	59.11	545.6	0.11
1333	22.26	256.1	0.087
2333	11.09	236.4	0.047

Таблица 4: Измерение отношения амплитуд спектров входного и выходного сигналов

$$K_n = \left| \frac{a_n^\phi}{a_n^0} \right| \quad (4)$$

На основе проведённых измерений был построен график зависимости амплитудного коэффициента фильтрации $K(\nu)$ от величины, обратной частоте

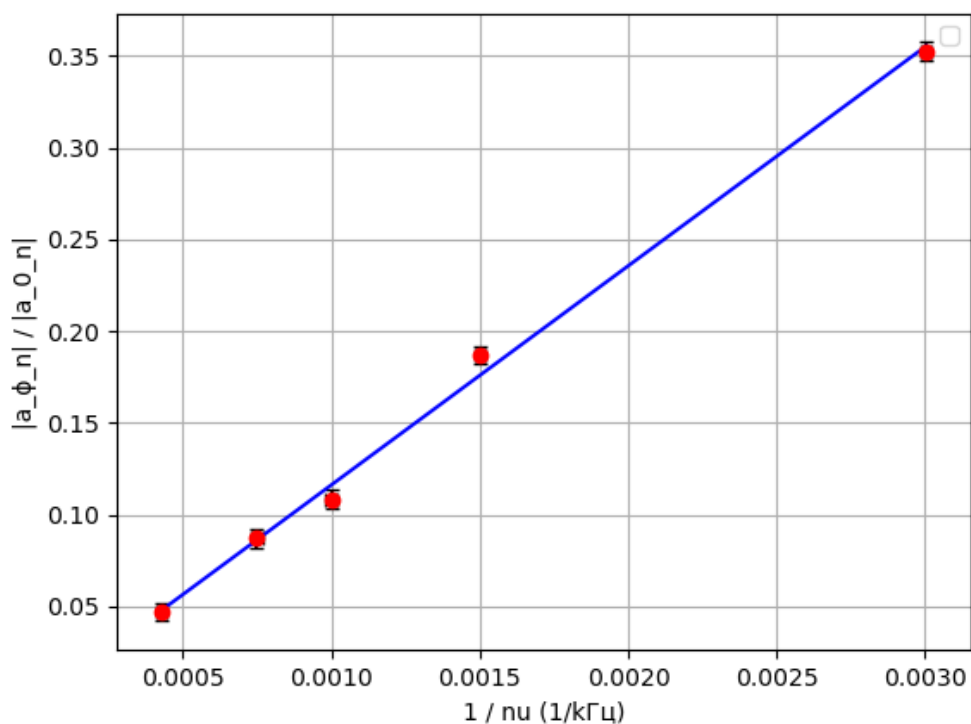


Рисунок 22

Из полученного графика можно найти его коэффициент наклона:

$$k = \frac{1}{2\pi RC} = (59 \pm 1) \text{ кГц} \quad (5)$$

Отсюда: $RC = (2.70 \pm 0.05)$ - близко, но не совсем точно

Скорее всего это произошло из-за аппроксимации прямой

4 Вывод

В ходе работы были изучены различные сигналы и их спектры, а также влияние на них параметров