

# Лабораторная работа 3.6.1: Спектральный анализ электрических сигналов

Дроздов Т. А.  
Кириллов М. А.  
Б03-202

**В работе используются:** генератор сигналов произвольной формы, цифровой осциллограф с функцией быстрого преобразования Фурье или цифровой USB-осциллограф, подключённый к персональному компьютеру.

**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.

## Ход работы

### Исследование спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов и проверка соотношений неопределённостей

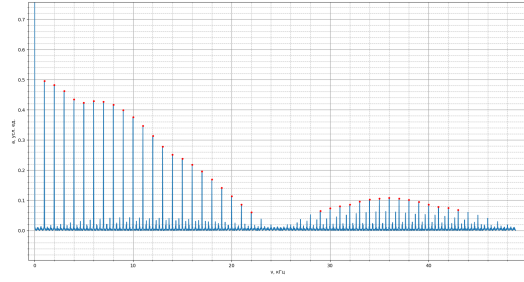
Следуя техническому описанию генератора мы настроили генерацию прямоугольных импульсов с параметрами  $\nu_{\text{повт}} = 1$  кГц и длительностью импульса  $\tau = 50$  мкс.

Получили на экране спектр сигнала и, изменяя либо  $\tau$ , либо  $\nu_{\text{повт}}$ , наблюдали, как изменяется спектр.

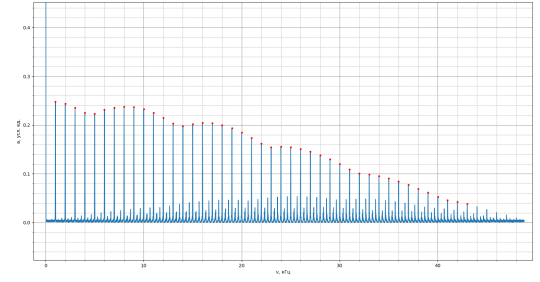
Затем зафиксировали  $\nu_{\text{повт}} = 1$  кГц и  $\tau = 60$  мкс. Для этих параметров измерили величину  $a_n$  и  $\nu_n$  для 13 гармоник и сравнили с рассчитанными значениями по формулам. Результаты занесли в таблицу.

$$\nu_n = \frac{n}{T}$$
$$|a_n| = \frac{|\sin \frac{\pi n \tau}{T}|}{\pi n}$$

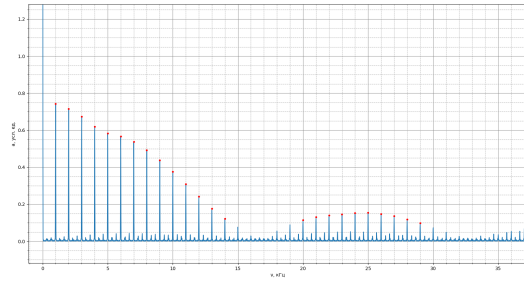
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\nu_n^{exp}$	1.00	2.00	3.00	4.01	4.99	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.01
$\nu_n^{theor}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$a_n^{exp}$	0.74	0.72	0.67	0.62	0.58	0.57	0.54	0.49	0.44	0.38	0.31	0.24	0.18
$ a_n/a_1 ^{exp}$	1	0.96	0.91	0.83	0.79	0.76	0.72	0.66	0.59	0.51	0.42	0.33	0.24
$ a_n/a_1 ^{theor}$	1	0.98	0.95	0.91	0.86	0.80	0.74	0.67	0.59	0.51	0.43	0.34	0.26



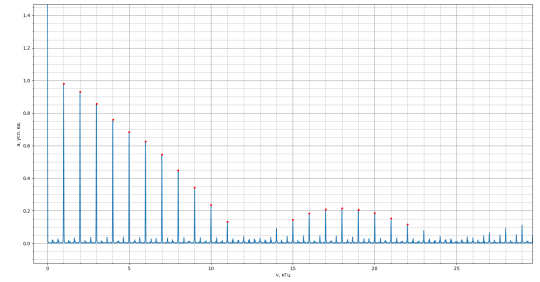
(a)  $\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ ,  $\tau = 10 \text{ мкс}$ .



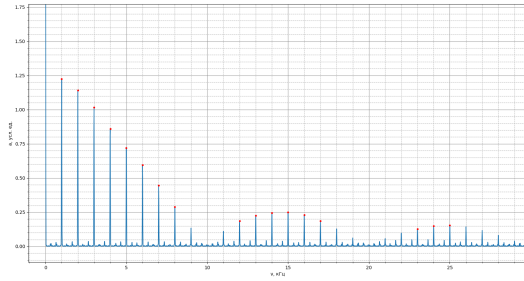
(b)  $\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ ,  $\tau = 20 \text{ мкс}$ .



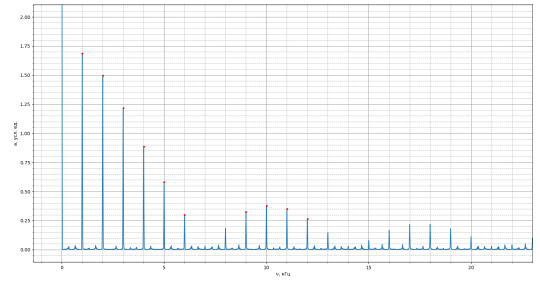
(c)  $\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ ,  $\tau = 60 \text{ мкс}$ .



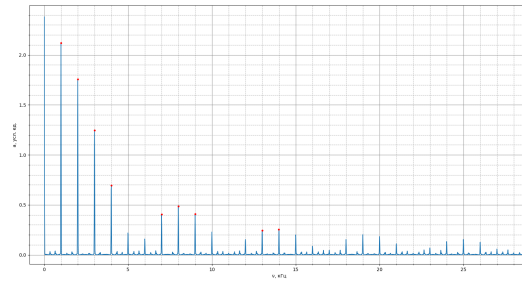
(d)  $\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ ,  $\tau = 80 \text{ мкс}$ .



(e)  $\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ ,  $\tau = 100 \text{ мкс}$ .



(f)  $\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ ,  $\tau = 140 \text{ мкс}$ .



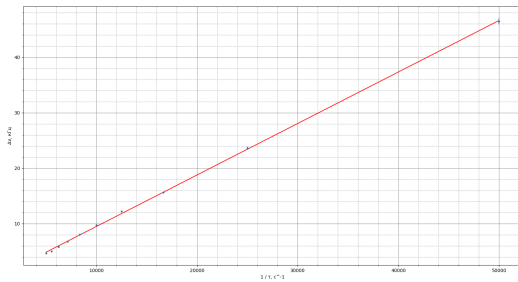
(g)  $\nu_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ ,  $\tau = 180 \text{ мкс}$ .

Далее зафиксировали период повторения  $T$  прямоугольного сигнала  $T = 1$ ,  $\nu_{\text{повт}} = 1$ . Изменяя длительность импульса  $\tau$ , измерили полную ширину спектра сигнала  $\Delta\nu$ . Полученные данные записали в таблице. Из таблицы легко заметить, что  $\Delta\nu\tau \approx 1$ , т.е. что выполняется соотношение неопределенностей.

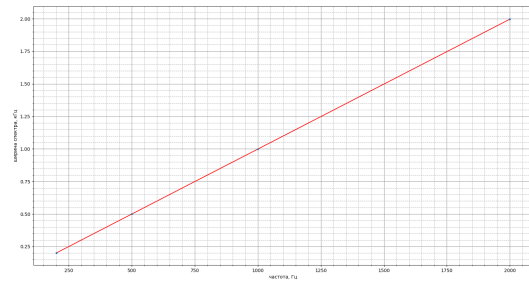
$\tau$ , мкс	20	40	60	80	100
$\Delta\nu$ , кГц	$46.48 \pm 0.58$	$23.58 \pm 0.29$	$15.60 \pm 0.14$	$12.21 \pm 0.08$	$9.73 \pm 0.07$
$\tau$ , мкс	120	140	160	180	200
$\Delta\nu$ , кГц	$8.05 \pm 0.07$	$6.80 \pm 0.07$	$5.82 \pm 0.04$	$5.04 \pm 0.02$	$4.68 \pm 0.02$

После этого мы зафиксировали длительность импульса  $\tau = 100$  мкс. Изменяя частоту повторения  $\nu_{\text{повт}}$ , измерили расстояние  $\delta\nu$  между соседними гармониками спектров. Данные так же представлены в таблице.

$\nu_{\text{повт}}$ , Гц	200	500	1000	2000
$\delta\nu$ , Гц	$199.8 \pm 1.6$	$499.9 \pm 1.5$	$999.4 \pm 3.6$	$1996.8 \pm 8.4$



(а) МНК для графика  $\Delta\nu(1/\tau)$   
коэффициент наклона  $k = (92.8 \pm 1.0)10^{-5}$

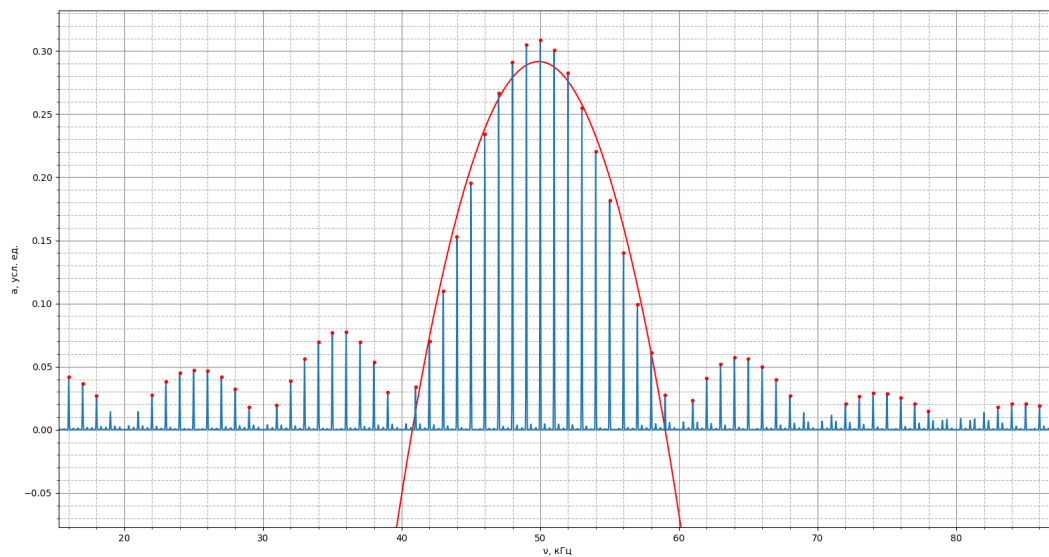


(b) МНК для графика  $\delta\nu(1/T)$   
коэффициент наклона  $k = (998.2 \pm 4.2)10^{-6}$

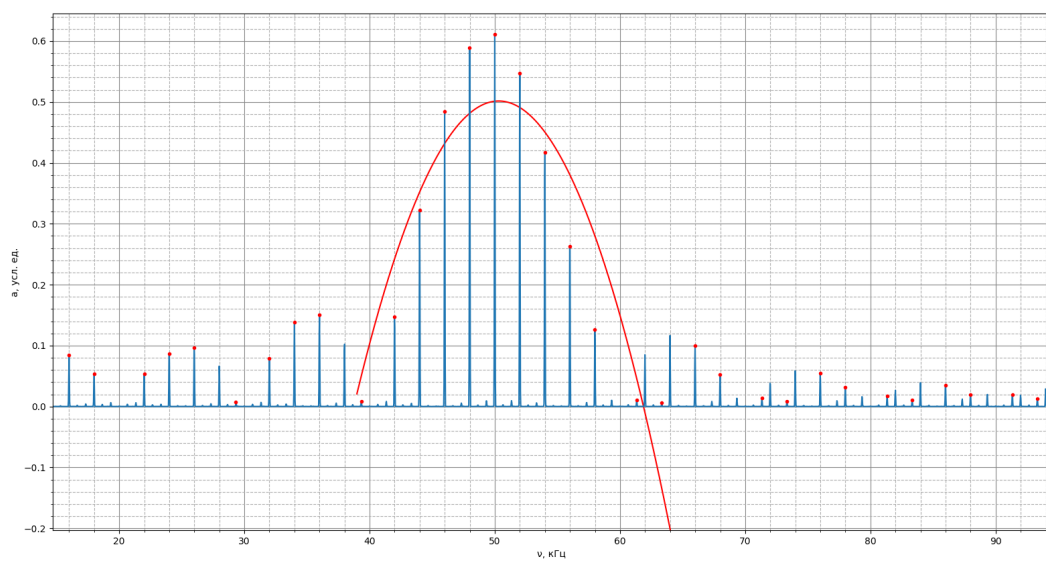
## Наблюдение спектра периодической последовательности цугов

Следуя техническому описанию генератора, мы установили режим подачи периодических импульсов синусоидальной формы (цугов) с параметрами:  $\nu_0 = 50$  кГц,  $T = 1$  мс, число периодов в одном импульсе  $N = 5$  (длительность импульса  $\tau = T/\nu_0 = 100$  мкс).

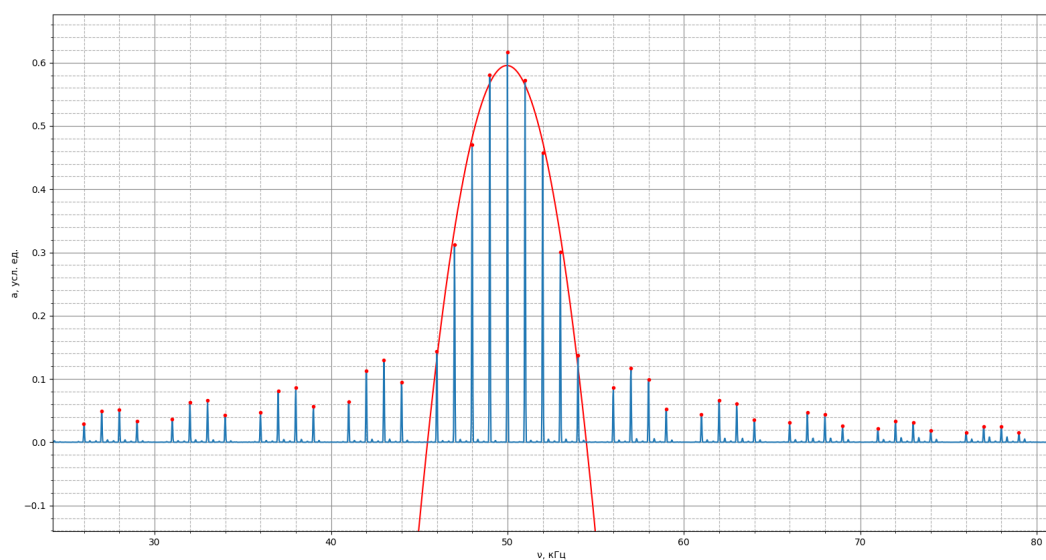
Изменяя параметры сигнала  $\nu_0$ ,  $T$  и  $N$  мы наблюдали следующие изменения вида спектра: при уменьшении периода повторения  $T$  расстояние между гармониками  $\delta\nu$  увеличивается; при увеличении числа периодов синусоиды в одном импульсе  $N$  ширина спектра  $\Delta\nu$  уменьшается; при уменьшении несущей частоты  $\nu_0$  уменьшается координата положения центра спектра.



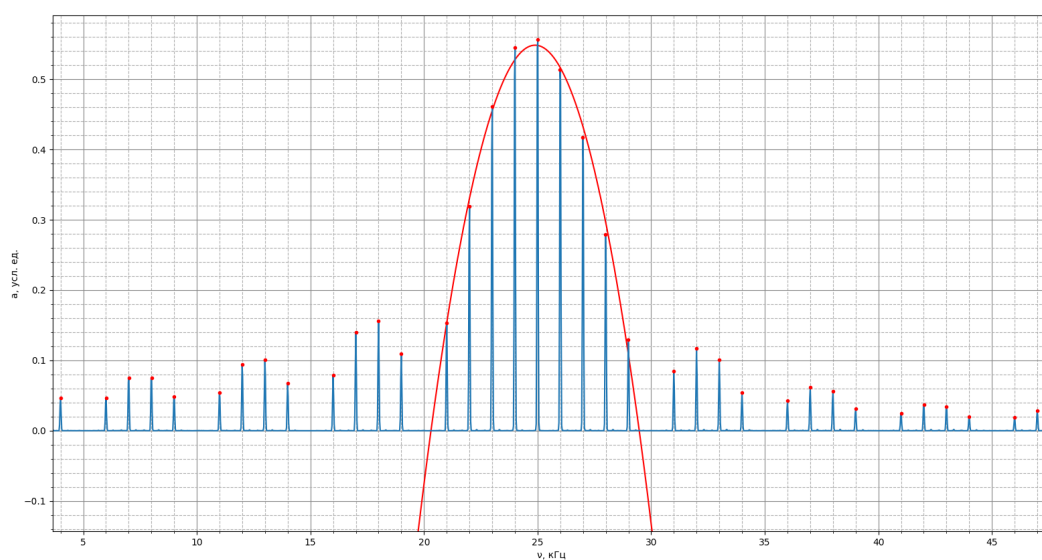
$$\nu_0 = 50 \text{ кГц}, T = 1 \text{ мс}, N = 5$$



$$\nu_0 = 50 \text{ кГц}, T = 0.5 \text{ мс}, N = 5$$



$$\nu_0 = 50 \text{ кГц}, T = 1 \text{ мс}, N = 10$$



$$\nu_0 = 25 \text{ кГц}, T = 1 \text{ мс}, N = 5$$

$\nu_0$ , кГц	T, мс	N	$\delta\nu$ , Гц	$\Delta\nu$ , Гц
50	1	5	$1000.0 \pm 2.7$	$18232 \pm 52$
50	0.5	5	$2148 \pm 280$	$23130 \pm 390$
50	1	10	$1001 \pm 0$	$9008 \pm 6.8$
25	1	5	$998 \pm 6.3$	$9170 \pm 12$