

# Задача 3.6.1

## Спектральный анализ электрических сигналов

Лось Денис (группа 611)

8 декабря 2017

**Цель работы:** изучение спектрального состава периодических электрических сигналов.

**В работе используются:** персональный компьютер, USB-осциллограф АКИП-4107, функциональный генератор WaveStation 2012, соединительные кабели

### Описание

В работе изучаются спектры периодических электрических сигналов различной формы (последовательности прямоугольных импульсов и цугов, а также амплитудно- и фазо-модулированных гармонических колебаний). Спектры этих сигналов наблюдаются с помощью спектроанализатора, входящего в состав USB-осциллографа и сравниваются с рассчитанными теоритически.

### Экспериментальная установка

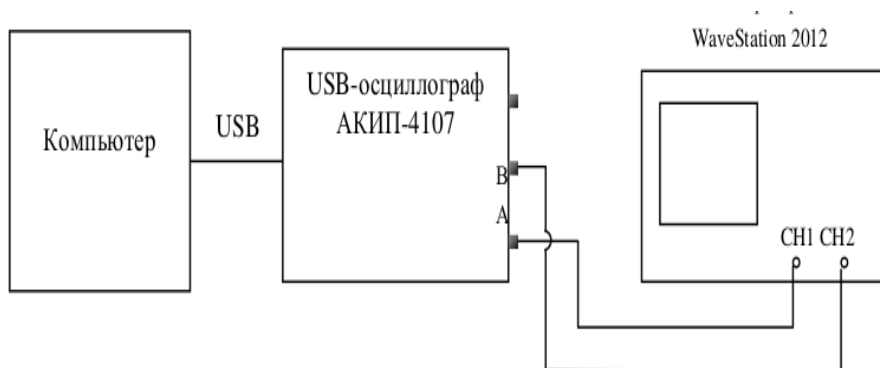


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Функциональный генератор WaveStation 2012 позволяет сформировать два различных электрических сигнала, которые выводятся на два независимых канала CH1 и CH2. Сигнал с канала CH1 подаётся на вход А, а сигнал с канала CH2 подаётся 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.

## Исследование спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов

1. На генераторе установим разность максимального и минимального значений сигнала равной 1 В, смещение сигнала равным 0.5 В, частоту повторения импульсов  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц, а длительность импульса  $\tau = 100$  мкс.
2. Проанализируем, как меняется спектр: при увеличении  $\tau$  вдвое при неизменной частоте  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц и при увеличении  $f_{\text{повт}}$  вдвое при неизменном  $\tau = 100$  мкс.

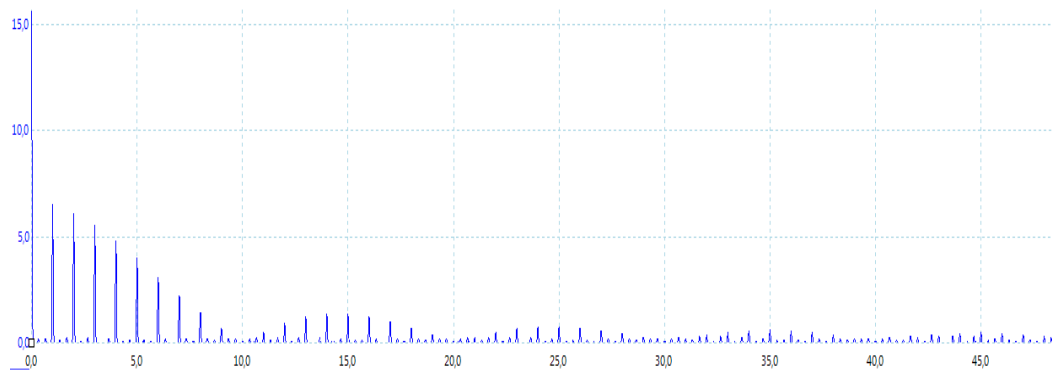


Рис. 2: Спектр сигнала при  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц и  $\tau = 100$  мкс



Рис. 3: Спектр сигнала при  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц и  $\tau = 200$  мкс

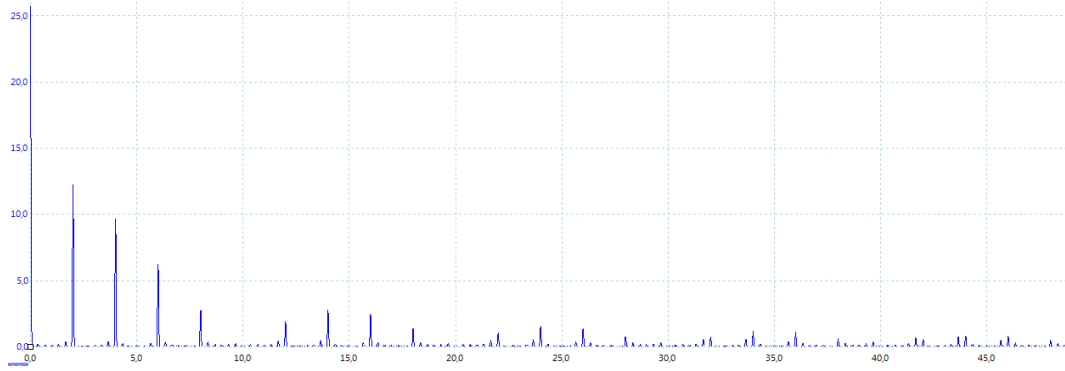


Рис. 4: Спектр сигнала при  $f_{\text{повт}} = 2$  кГц и  $\tau = 100$  мкс

3. Проведём измерения ширины спектра  $\Delta\nu$  от длительности импульса  $\tau$  при увеличении  $\tau$  от 40 до 200 мкс при  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц.

$\tau$ , мкс	$\Delta\nu$ , кГц
40	25.0
50	20.0
60	17.0
70	14.0
80	12.5
120	8.5
150	7.0
200	5.0

Построим график зависимости  $\Delta\nu = 1/\tau$  и по его наклону убедимся в справедливости соотношения неопределённостей ( $\Delta\nu\Delta t \simeq 1$ ), что мы уже в принципе можем сделать, анализируя полученные измерения в таблице.

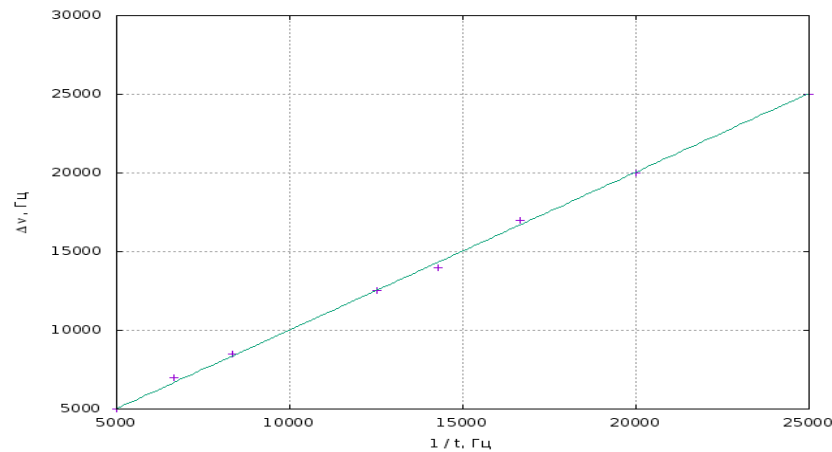


Рис. 5: График зависимости  $\Delta\nu = f(1/\tau)$

Коэффициент наклона

$$k = (1.003 \pm 0.005)$$

4. Для  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц и  $\tau = 50$  мкс и  $\tau = 100$  мкс измерим частоты и амплитуды спектральных составляющих сигнала и занесём результаты в таблицу, где  $N$  — номер гармоники,  $f$  — частота, а  $A$  — амплитуда.

$N$	$f$ , кГц	$A$ , мВ
2	2.016	102.1
3	3.015	100.6
4	3.993	99.1
5	4.992	93.2
6	6.011	85.8
7	6.968	81.7
8	8.028	72.5
9	9.006	66.6
10	9.964	62.13

Измерения при  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц и  $\tau = 50$  мкс

$N$	$f$ , кГц	$A$ , мВ
1	0.997	211.5
2	1.996	199.7
3	2.994	177.5
4	3.973	158.3
5	5.032	130.2
6	5.990	102.1
7	7.009	74.0
8	7.986	45.9
9	9.006	20.7

Измерения при  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц и  $\tau = 100$  мкс

## Исследование спектра периодической последовательности цугов гармонических колебаний

1. Сделав все необходимые настройки в программе, проанализуем, как изменяется вид спектра для произведения  $A * B$  при увеличении длительности  $\tau$  импульса от 100 до 200 мкс.
2. Установив длительность импульса  $\tau = 100$  мкс, проследим, как меняется картина спектра при изменении несущей частоты  $\nu_0$  ( $\nu_0 = 10, 2540$  кГц).

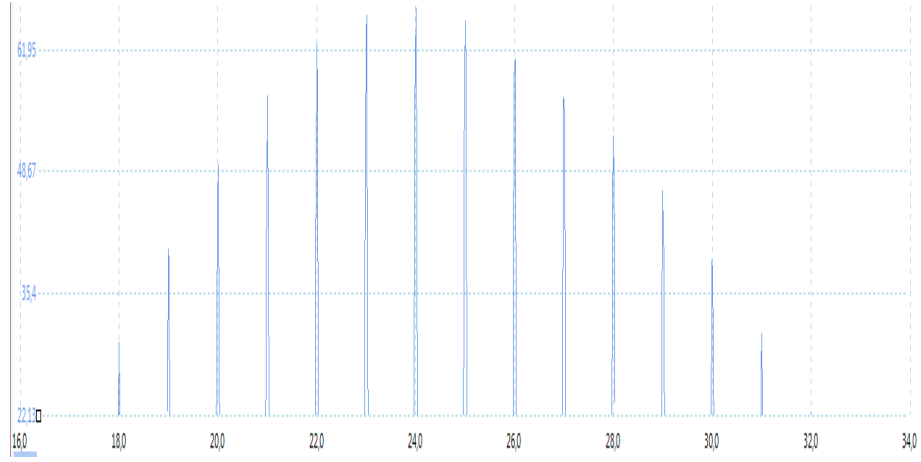


Рис. 6: Спектр сигнала при  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц и  $\tau = 100$  мкс

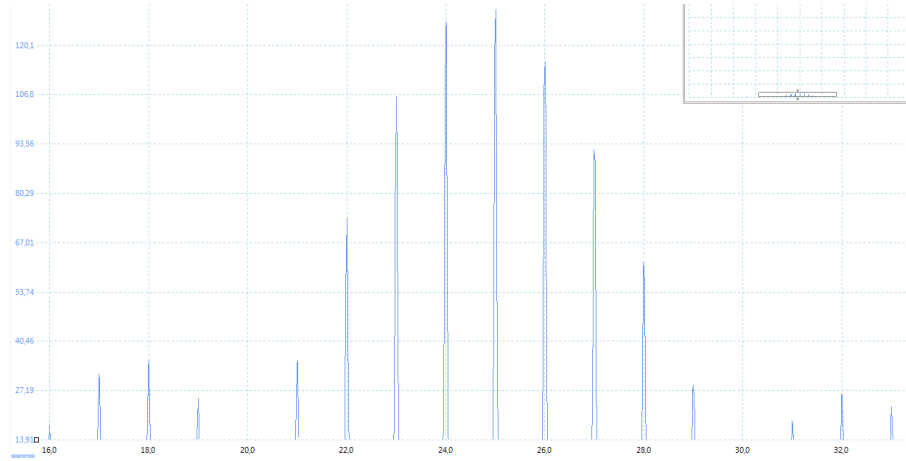


Рис. 7: Спектр сигнала при  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц и  $\tau = 200$  мкс

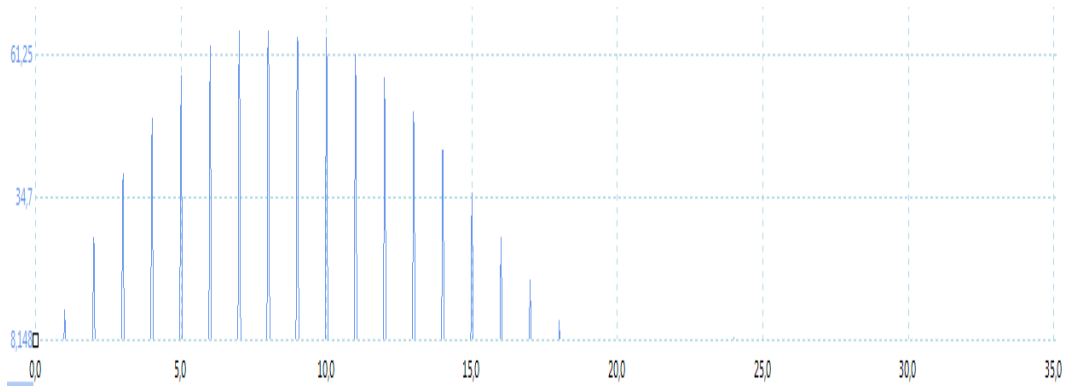


Рис. 8: Спектр сигнала при  $\nu_0 = 10$  кГц и  $\tau = 100$  мкс

3. Установим частоту несущей  $\nu_0 = 30$  кГц и длительность импульса  $\tau = 100$  мкс. Определим расстояние  $\delta\nu$  между соседними спектральными компонентами для разных частот повторения импульса  $f_{\text{повт}}$  ( $f_{\text{повт}} = 0.5, 1, 2, 4, 5$  кГц)

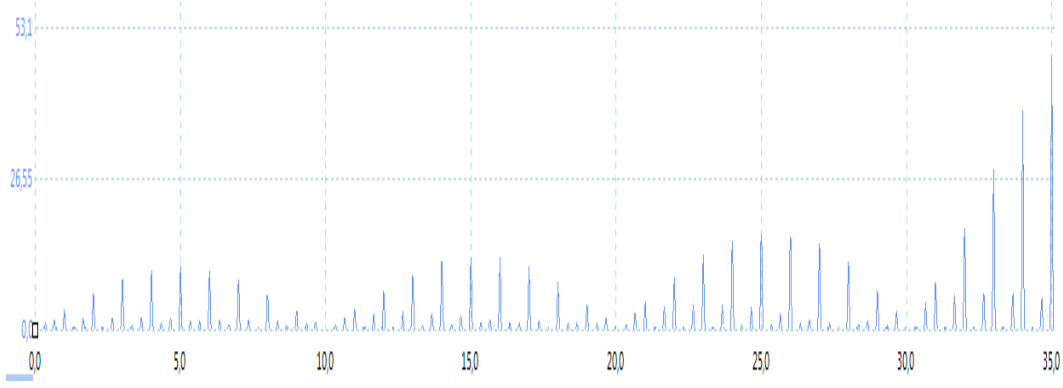


Рис. 9: Спектр сигнала при  $\nu_0 = 25$  кГц и  $\tau = 100$  мкс

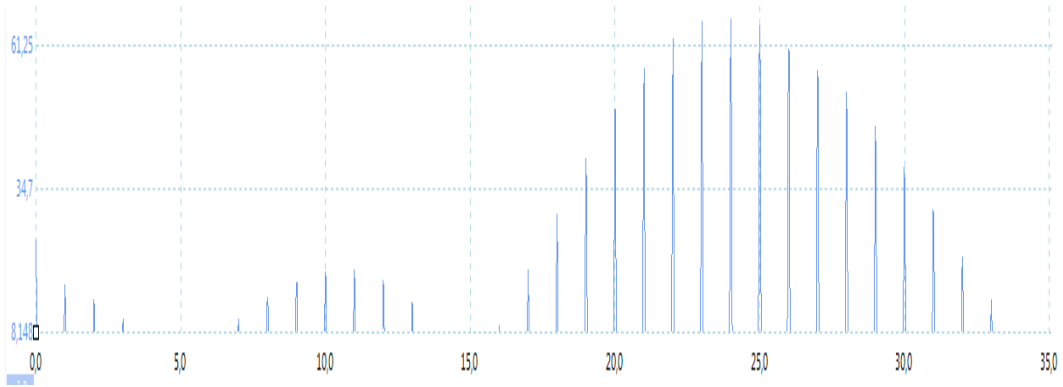


Рис. 10: Спектр сигнала при  $\nu_0 = 40$  кГц и  $\tau = 100$  мкс

$f_{\text{повт}}, \text{кГц}$	$\delta\nu, \text{кГц}$
0.5	0.48
1	0.98
2	1.99
4	4.00
5	5.01

Построим график  $\delta\nu = g(f_{\text{повт}})$  (рис.11) и найдём угловой коэффициент полученной зависимости.

В результате получим, что угловой коэффициент:

$$k = (1.000 \pm 0.002)$$

- Установим  $\tau = 100$  мкс и  $f_{\text{повт}} = 1$  кГц. Определим амплитуды и частоты для различных гармоник при  $f_{\text{повт}}$  равной 1 и 2 кГц и занесём результаты в таблицу, где  $N$  — номер гармоники,  $f$  — частота, а  $A$  — амплитуда.

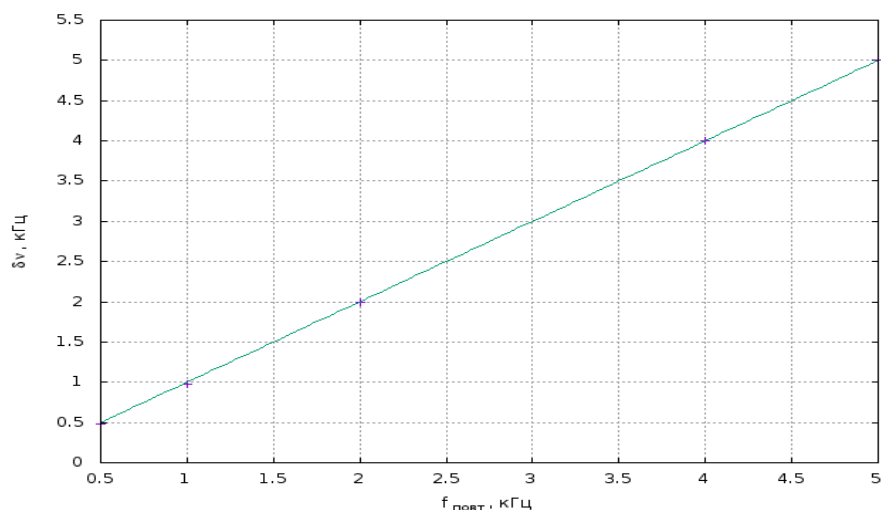


Рис. 11: График зависимости  $\delta\nu = g(f_{\text{повт}})$

$N$	$f, \text{кГц}$	$A, \text{мВ}$
1	1	4.57
2	2	8.74
3	3	12.02
4	4	13.91
5	5	15.00
11	11	4.67
15	15	19.57
25	25	44.71

Измерения при  $f_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$  и  $\tau = 100 \text{ мкс}$

$N$	$f, \text{кГц}$	$A, \text{мВ}$
1	2	15.1
2	4	28.12
6	12	19.67
7	14	35.57
11	22	36.76
12	24	74.10
13	26	102.10

Измерения при  $f_{\text{повт}} = 2 \text{ кГц}$  и  $\tau = 100 \text{ мкс}$

## Исследование спектра гармонических колебаний, модулированных по амплитуде

1. Для канала СН2 на генераторе установим двойную амплитуду сигнала равной 1 В, частоту несущей  $\nu_0$  равной 25 кГц, также установим смещение сигнала

равным нулю.

Для канала СН1 на генераторе установим двойную амплитуду сигнала равной 0.2 В и частоту модуляции  $f_{\text{мод}}$  равной 1 кГц. Смещение сигнала установим равным 1 В.

2. Меняя двойную амплитуду сигнала канала СН1 от 0.2 до 2, измерим для каждого значения максимальную  $A_{\text{max}}$  и  $A_{\text{min}}$  амплитуды сигналов модулированного колебания и амплитуды спектральных компонент. Рассчитаем соответствующие значения глубины модуляции  $m$  по формуле

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

$2U, \text{ В}$	$A_{\text{min}}, \text{ мВ}$	$A_{\text{max}}, \text{ мВ}$	$a_{\text{осн}}, \text{ мВ}$	$a_{\text{бок}}, \text{ мВ}$	$m$
0.2	430.5	548.6	322.3	40.6	0.12
0.5	361.5	617.5	322.3	65.0	0.26
0.8	278.0	691.3	322.3	97.4	0.43
1.2	189.4	784.7	322.3	131.0	0.61
1.6	95.9	893.0	322.3	170.0	0.81

Построим график отношения  $a_{\text{бок}}/a_{\text{осн}}$  в зависимости от  $m$  (рис.12) и определим угловой коэффициент наклона графика.



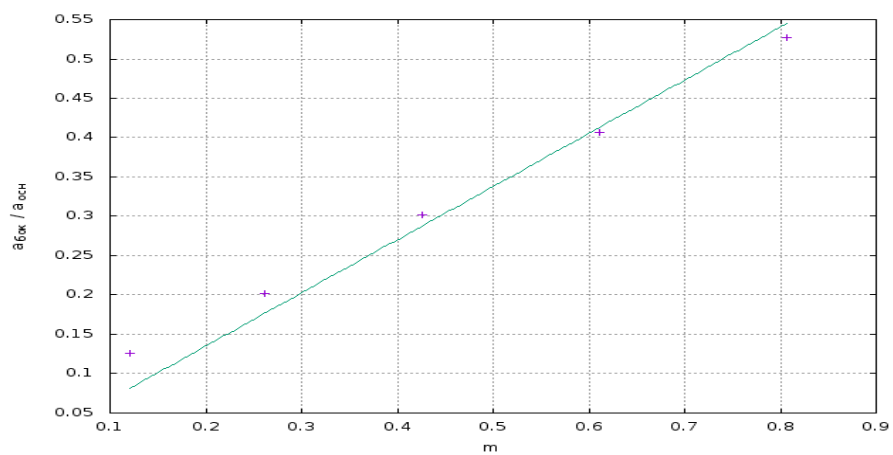


Рис. 12: График зависимости  $a_{\text{бок}}/a_{\text{осн}}$  от  $m$

Угловой коэффициент наклона графика

$$k = (0.68 \pm 0.03)$$