

3.6.1. Спектральный анализ электрических сигналов

Рябых Владислав и Валеев Сергей, Б05-905

27 ноября 2020 г.

Цель работы: изучение спектрального состава периодических электрических сигналов.

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

Теория

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

Функциональный генератор WaveStation 2012 позволяет сформировать два различных электрических сигнала, которые выводятся на два независимых канала – СН1 и СН2. Сигнал с первого канала подается на вход А, а сигнал со второго канала 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 спектроанализа можно наблюдать спектры этих сигналов.

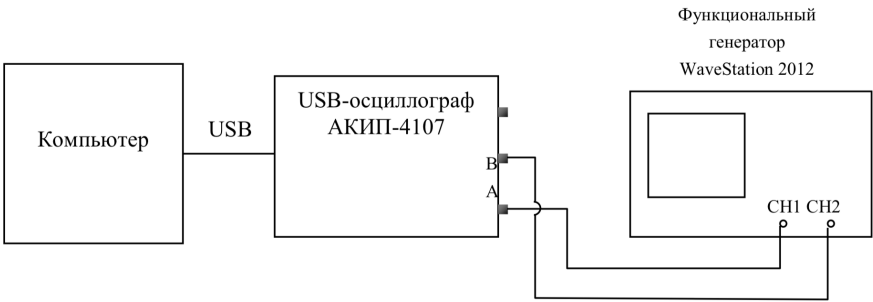


Рис. 1 – Структурная схема анализатора спектра

Ход работы

Исследование спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов

Проведём анализ спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов при различных значениях частоты повторения импульсов и длительности импульсов. Спектры полученные в ходе работы приведены на рисунках 2 – 5. Проведем измерения зависимости ширины спектра $\Delta\nu$ от длительности импульса τ , результаты измерений запишем в таблицу 1.

| | | | | | | | | |
|---------------------------------------|----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| $\Delta\nu$, кГц | 25 | 16.3 | 12.5 | 8.72 | 7 | 6.2 | 5.6 | 5 |
| τ , мкс | 40 | 60 | 80 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 |
| $1/\tau$, $10^3 \cdot \text{с}^{-1}$ | 25 | 16.7 | 12.5 | 8.3 | 7.1 | 6.3 | 5.6 | 5 |

Таблица 1: результаты измерений

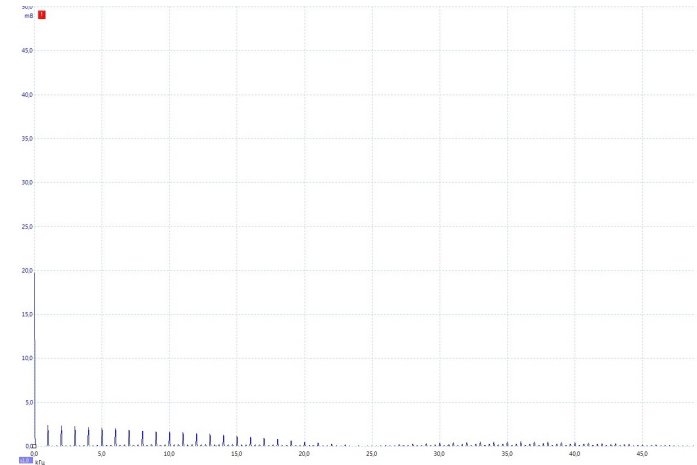


Рис. 2 – $f_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$, $\tau = 50 \text{ мкс}$

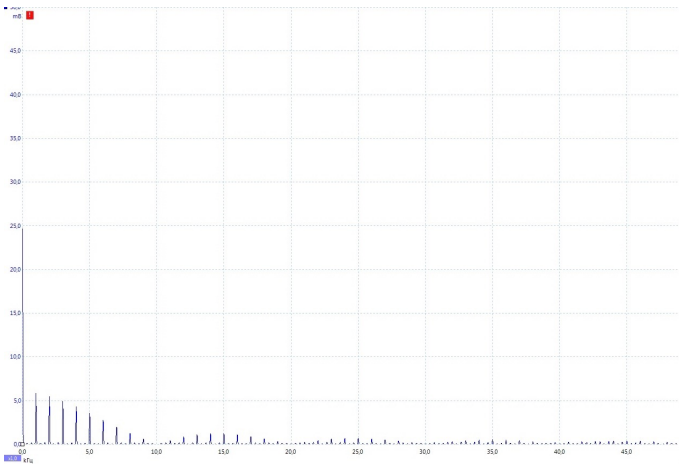


Рис. 3 – $f_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$, $\tau = 100 \text{ мкс}$

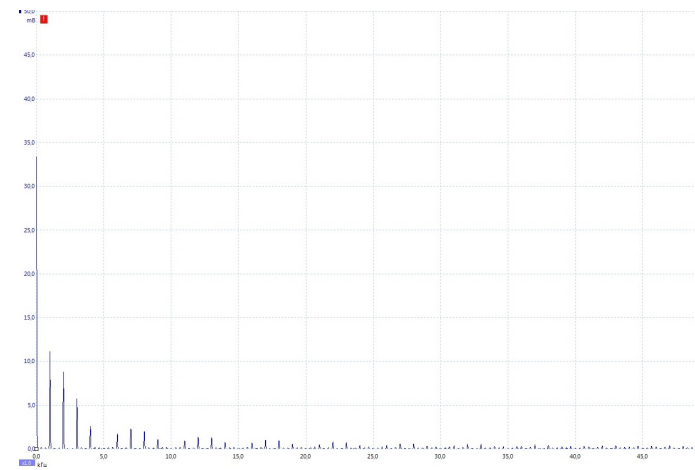


Рис. 4 – $f_{\text{повт}} = 2 \text{ кГц}$, $\tau = 100 \text{ мкс}$

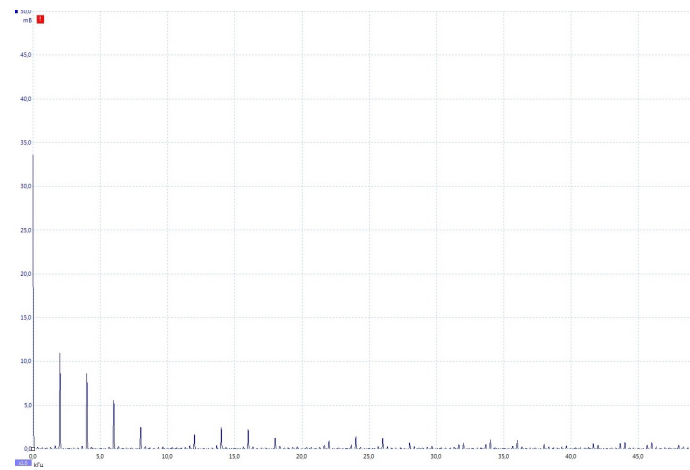


Рис. 5 – $f_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$, $\tau = 50 \text{ мкс}$

При частоте повторения сигналов $f_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ и $\tau = 50 \text{ мкс}$ измерим частоты и амплитуды спектральных составляющих сигнала и запишем результаты в таблице 2. Аналогичные измерения проведем при $\tau = 100 \text{ мкс}$, результаты см. в таблице 3.

| № гармоники | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ν , кГц | 0.01 | 1.002 | 1.999 | 2.981 | 4.008 | 5.001 | 5.998 | 7.006 | 8.012 | 8.989 | 10 |
| A , мВ | 141.5 | 69.32 | 68.7 | 65.87 | 62.74 | 58.66 | 56.78 | 52.07 | 47.68 | 43.91 | 40.78 |

Таблица 2: результаты измерений при $f_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ и $\tau = 50 \text{ мкс}$

| № гармоники | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| ν , кГц | 0.005 | 1.007 | 1.999 | 3.006 | 4.003 | 5.01 | 6.012 | 6.999 | 7.961 | 9.011 | – |
| A , мВ | 243.4 | 136.1 | 128.6 | 117.9 | 103.8 | 85.95 | 68.07 | 48.31 | 32.94 | 14.43 | – |

Таблица 3: результаты измерений при $f_{\text{повт}} = 1 \text{ кГц}$ и $\tau = 100 \text{ мкс}$

По результатам измерений построим график зависимости $\Delta\nu = f(1/\tau)$, см. на рис. 6. Убеждаемся в справедливости соотношения неопределенностей: коэффициент наклона графика $k \approx 1$.

Исследование спектра периодической последовательности цугов гармонических колебаний

Установим частоту несущей $\nu_0 = 25 \text{ кГц}$, проведем анализ спектра при различных параметрах сигнала. Спектры при различных параметрах см. на рис. 7 – 10.

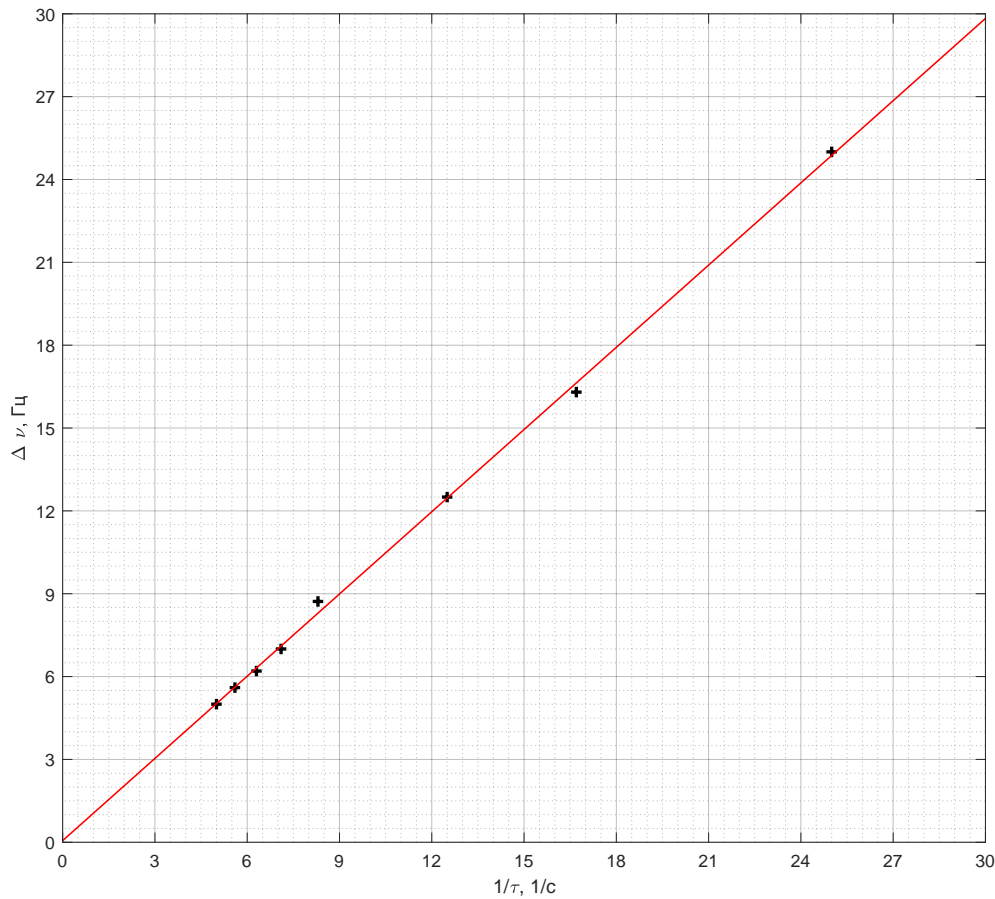


Рис. 6 – График зависимости $\Delta\nu(1/\tau)$

Проведем измерения зависимости ширины спектра $\Delta\nu$ от частоты повторения импульсов $f_{\text{повт}}$, результаты измерений запишем в таблицу 4.

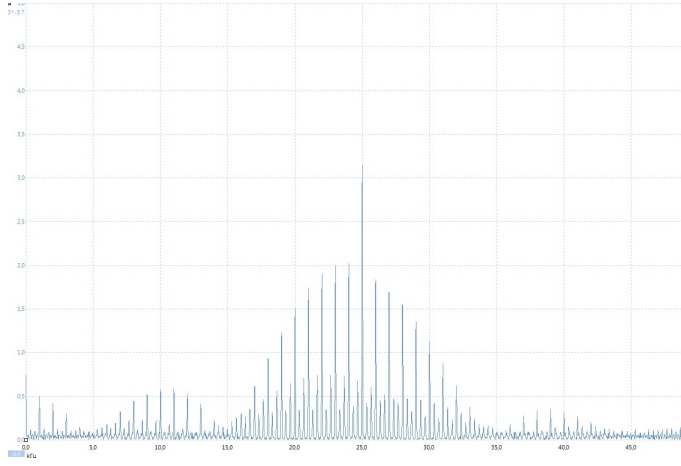
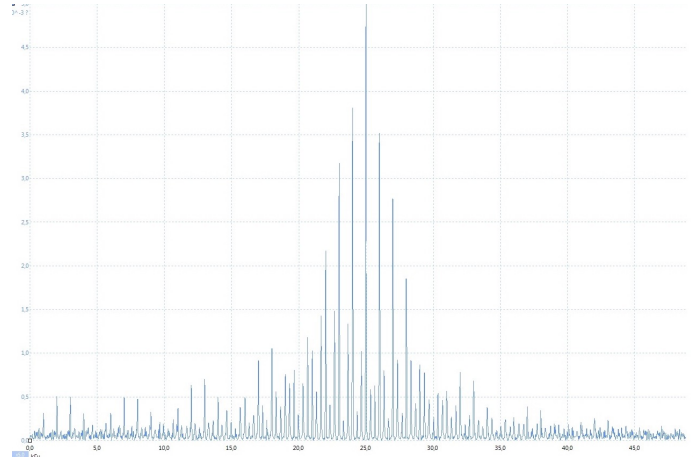
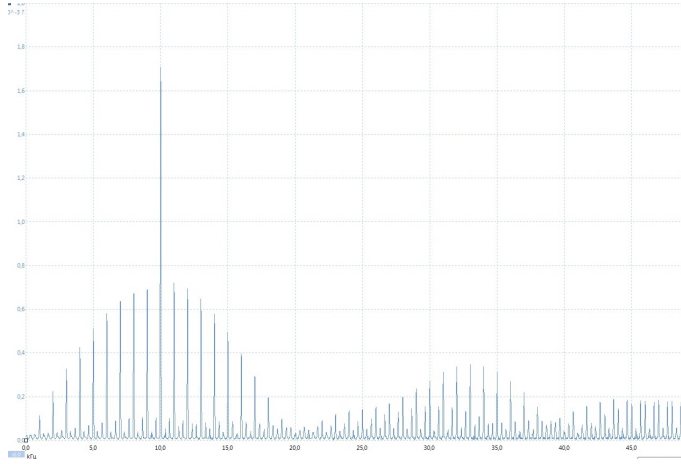
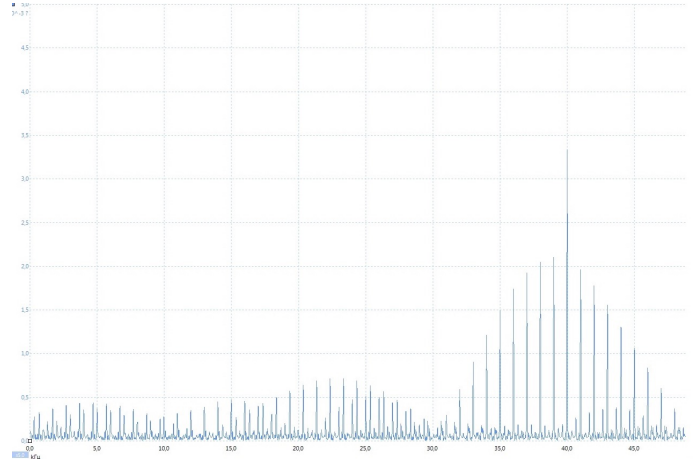
| | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
| $\Delta\nu$, кГц | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 |
| $f_{\text{повт}}$, кГц | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 |

Таблица 4: результаты измерений

При частоте повторения сигналов $f_{\text{повт}} = 1$ кГц и $\tau = 100$ мкс измерим частоты и амплитуды спектральных составляющих сигнала и запишем результаты в таблицу 5. Аналогичные измерения проведем при $f_{\text{повт}} = 2$ кГц, результаты см. в таблице 6.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|------|----|------|----|----|----|------|----|-----|
| N_{Γ} | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| ν , кГц | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| A , мкВ | 0 | 1.7 | 3.7 | 5.9 | 7.7 | 9.2 | 10 | 11.6 | 12.6 | 13 | 15.6 | 14 | 13 | 12 | 10.7 | 9 | 6.8 |

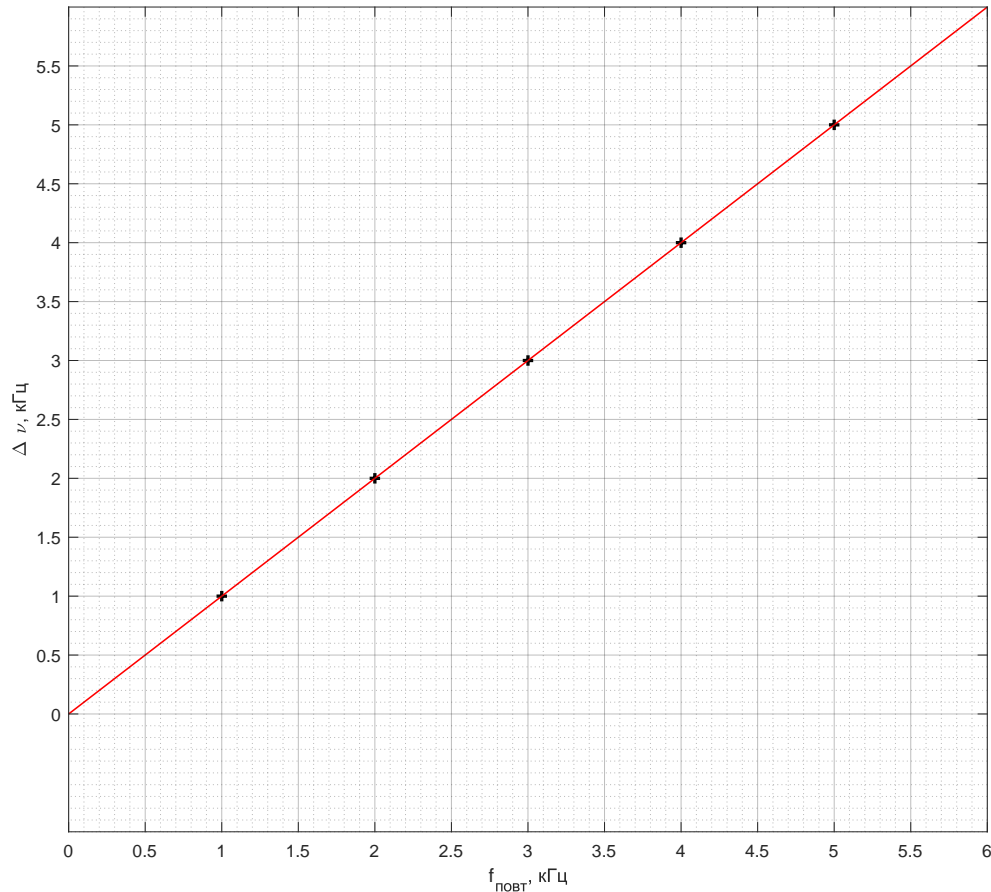
Таблица 5: Результаты измерений при $f_{\text{повт}} = 1$ кГц и $\tau = 100$ мкс

Рис. 7 – Спектр при $f_{\text{повт}} = 1$ кГц, $\tau = 100$ мкс, $\nu_0 = 25$ кГцРис. 8 – Спектр при $f_{\text{повт}} = 1$ кГц, $\tau = 200$ мкс, $\nu_0 = 25$ кГцРис. 9 – Спектр при $f_{\text{повт}} = 1$ кГц, $\tau = 100$ мкс, $\nu_0 = 10$ кГцРис. 10 – Спектр при $f_{\text{повт}} = 1$ кГц, $\tau = 100$ мкс, $\nu_0 = 40$ кГц

| | | | | | | | | | | |
|--------------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| N_{Γ} | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ν , кГц | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 |
| A , мкВ | 0 | 7.50 | 15.4 | 21.3 | 25.7 | 29.3 | 26.2 | 21.0 | 13.8 | 6.2 |

Таблица 6: Результаты измерений при $f_{\text{повт}} = 2$ кГц и $\tau = 100$ мкс

По результатам измерений построим график зависимости $\Delta\nu(f_{\text{повт}})$, и убедимся в справедливости соотношения неопределенностей, так как наклон графика $k \approx 1$, см. на рис. 11.

Рис. 11 – График зависимости $\Delta\nu(f_{\text{повт}})$

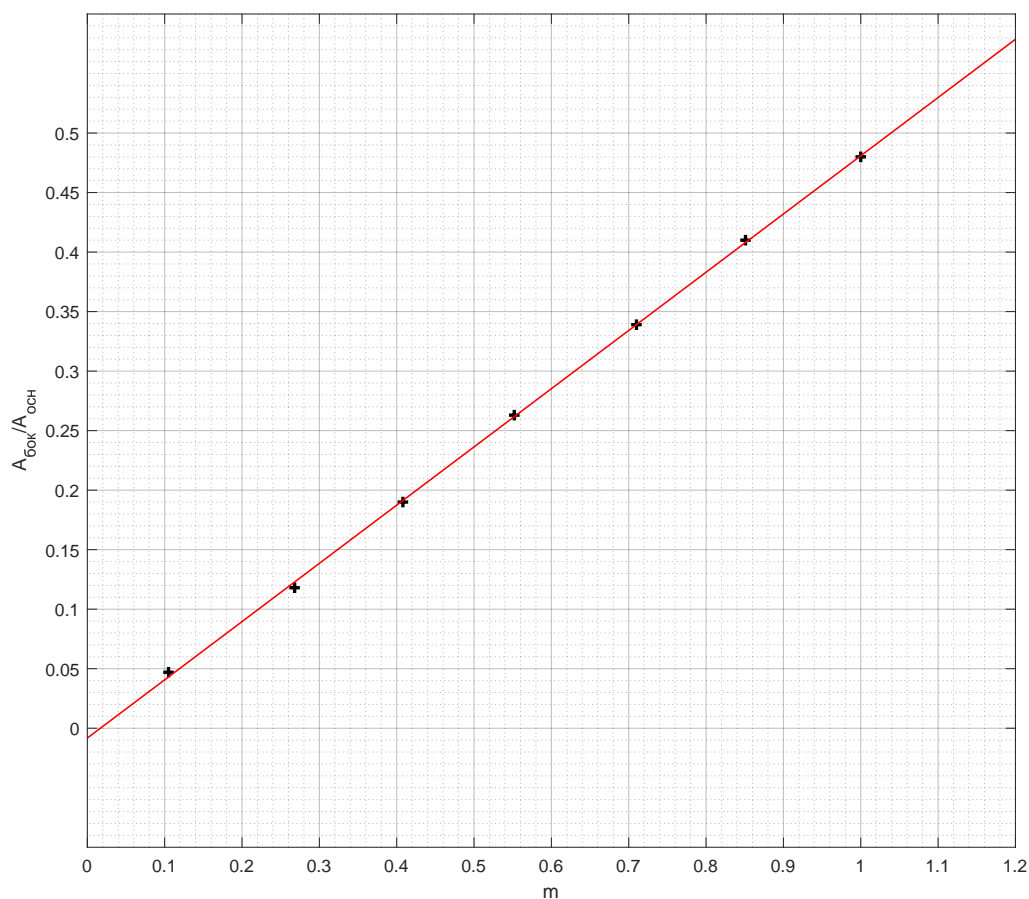
Исследование спектра гармонических сигналов, модулированных по амплитуд

Проведем измерение амплитуды сигнала в зависимости от глубины модуляции, результаты запишем в таблицу 7.

| | | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A(CH1)$, В | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 1.1 | 1.4 | 1.7 | 2.0 |
| A_{max} , дел | 113.7 | 130.4 | 146.1 | 161.9 | 176.6 | 190.0 | 203.0 |
| A_{min} , дел | 92.0 | 75.2 | 61.5 | 46.7 | 30.0 | 15.3 | 0 |
| $A_{осн}$, дел | 68.8 | 68.8 | 68.8 | 68.8 | 68.8 | 68.8 | 68.8 |
| $A_{бок}$, дел | 3.2 | 8.1 | 13.1 | 18.1 | 23.3 | 28.2 | 33.0 |
| m | 0.105 | 0.268 | 0.408 | 0.552 | 0.710 | 0.851 | 1.000 |
| $A_{бок}/A_{осн}$ | 0.047 | 0.118 | 0.190 | 0.263 | 0.339 | 0.410 | 0.480 |

Таблица 7: Результаты измерений при $f_{\text{повт}} = 2$ кГц и $\tau = 100$ мкс

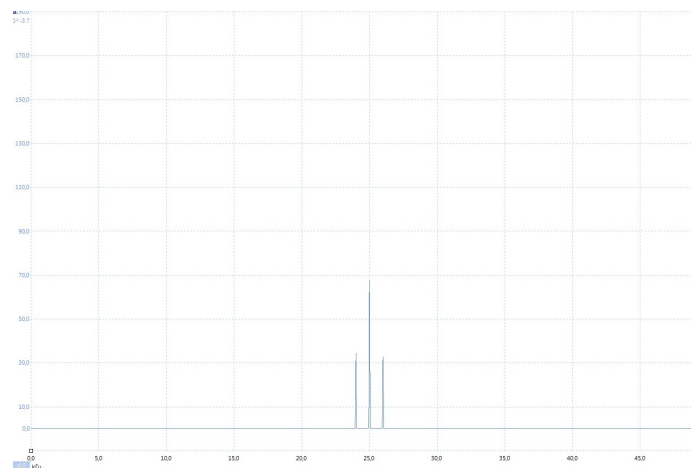
По данным таблицы 7 построим график зависимости $A_{бок}/A_{осн}(m)$, см. на рис. 12.

Рис. 12 – График зависимости $A_{\text{бок}}/A_{\text{осн}}(m)$

Ожидаемый наклон графика 0.5 совпадает с полученным экспериментально в пределах погрешности:

$$k = 0.48 \pm 0.03$$

При глубине модуляции 100% посмотрим на изменение спектра при увеличении $f_{\text{повт}}$, см на рис. 13 – 14. Видим, что спектр расширяется.

Рис. 13 – Спектр при $f_{\text{повт}} = 1$ кГцРис. 14 – Спектр при $f_{\text{повт}} = 5$ кГц

Выводы

1. В ходе лабораторной работы мы изучили спектральный состав периодических электрических сигналов различной формы: последовательности прямоугольных импульсов, последовательности цугов и амплитудно-модулированных гармонических колебаний.
2. Проверили выполнение соотношений неопределённости для всех видов сигналов, убедились в его справедливости.