**3.6.1**
**Спектральный анализ электрических сигналовюю**
*Егор Берсенев*

# 1 Цель работы

Изучение спектрального состава периодических электрических сигналов.

# 2 Оборудование

Анализатор спектра, генератор прямоугольных сигналов, генератор сигналов специальной формы, осциллограф.

# 3 Теоретическая часть

В работе изучается спектральный состав различных типов сигналов: последовательности прямоугольных импульсов, последовательности цугов и амплитудно-модулированных колебаний.

## 3.1 Периодическая последовательность прямоугольных импульсов

Пусть амплитуда $V_0$, длительностью $\tau$, частотой повторения $\Omega_1 = \frac{2\pi}{T}$, где $T$ — период повторения импульсов. Найдем среднее значение амплитуды:

$$\langle V \rangle = \frac{a_0}{2} = \frac{A_0}{2} = \frac{1}{T}\int_{-r/2}^{r/2} V_0 \mathrm{d}t = \frac{\tau}{T}V_0$$

Коэффициенты при косинусах равны:

$$a_n = \frac{2}{T}\int_{-r/2}^{r/2} V_0 \cos\left(n\omega_1 t\right)\mathrm{d}t = 2V_0\frac{\tau}{T}\frac{\sin\left(n\Omega_1\tau/2\right)}{n\Omega_1\tau/2} \simeq \frac{\sin x}{x}$$

## 3.2 Периодическая последовательность цугов

Рассмотрим цуги гармонического колебания $V_0\cos\left(\omega_0 t\right)$ с длительностью цуга $\tau$ и периодом повторения $T$. Коэффициент при n-й гармонике равен:

$$a_n = \frac{2}{T}\int_{-r/2}^{r/2} V_0\cos\left(\omega_0 t\right)\cdot\cos\left(n\Omega_1 t\right)\mathrm{d}t = V_0\frac{\tau}{T}\left(\frac{\sin\left[\left(\omega_0 - n\Omega_1\right)\frac{r}{2}\right]}{\left(\omega_0 - n\Omega_1\right)\frac{r}{2}} + \frac{\sin\left[\left(\omega_0 + n\Omega_1\right)\frac{r}{2}\right]}{\left(\omega_0 + n\Omega_1\right)\frac{r}{2}}\right)$$

## 3.3 Амплитудно-модулированные колебания

Рассмотрим гармонические колебания высокой частоты $\omega_0$, амплитуда которых меняется с частотой $\Omega$, $(\Omega \ll \omega)$.

$$f(t) = A_0\left[1 + m\cos\Omega t\right]\cos\omega t$$

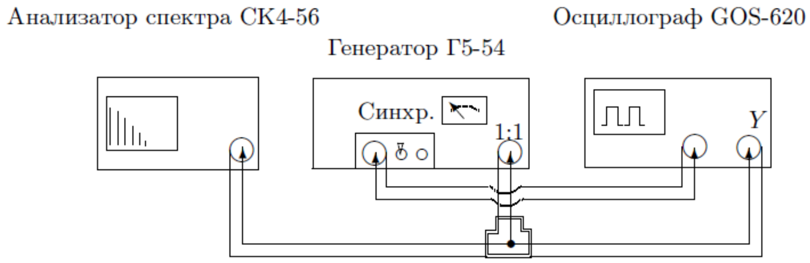
m называется глубиной модуляции. Простым тригонометрическим преобразованием найдем спектр таких колебаний:

$$f(t) = A_0 \cos \omega_0 t + \frac{A_0 m}{2} \cos(\Omega + \omega_0) t + \frac{A_0 m}{2} \cos(w_0 - \Omega) t$$

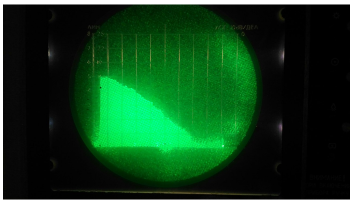
# 4 Ход работы

## 4.1 Периодическая последовательность прямоугольных импульсов

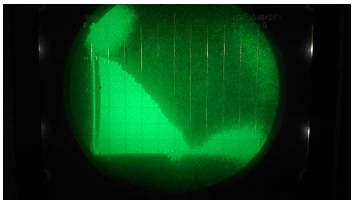
Соберем экспериментальную установку:



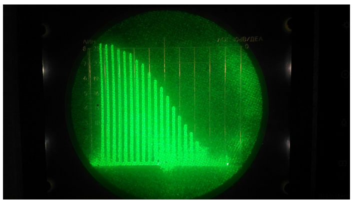

Спектры:



1кГц, 25мкс



1кГц, 50мкс



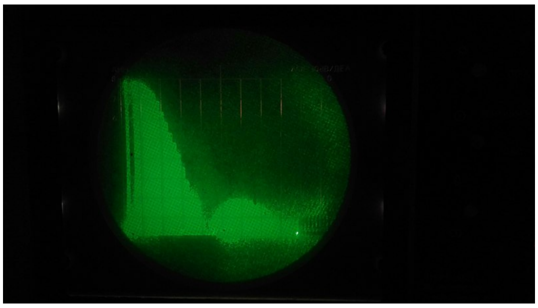
2кГц, 25мкс

Проведем измерения:

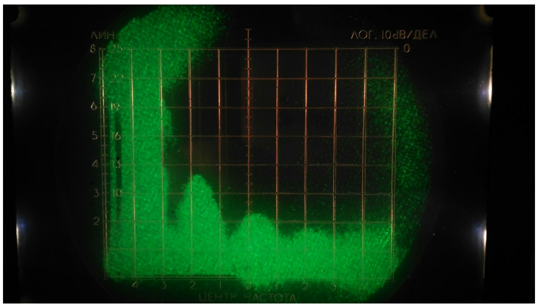
Таблица 1: Прямоугольные импульсы

| $\tau$, мкс | 25 | 50 | 100 | 125 | 150 | 170 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| x, дел | 6 | 4 | 2 | 1.6 | 0.8 | 0.4 |
| $\Delta\nu$, кГц | 40 | 20 | 10 | 8 | 4 | 2 |
| $1/\tau$, кГц | 40 | 20 | 10 | 8 | 6.7 | 5.9 |

Огибающие:

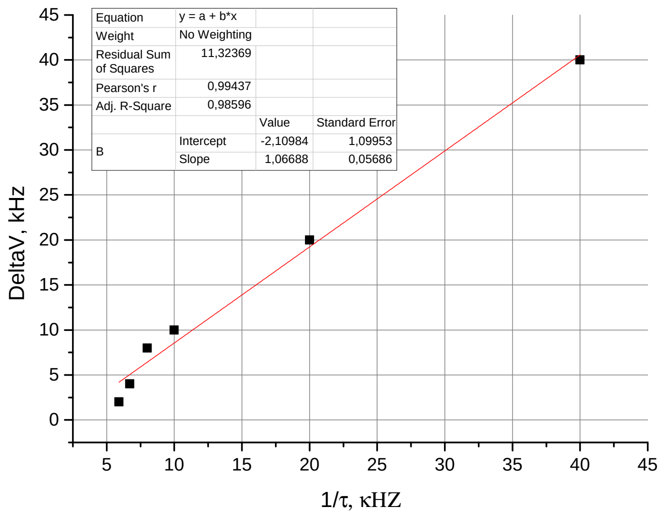


1кГц, 50мкс



1кГц, 100мкс

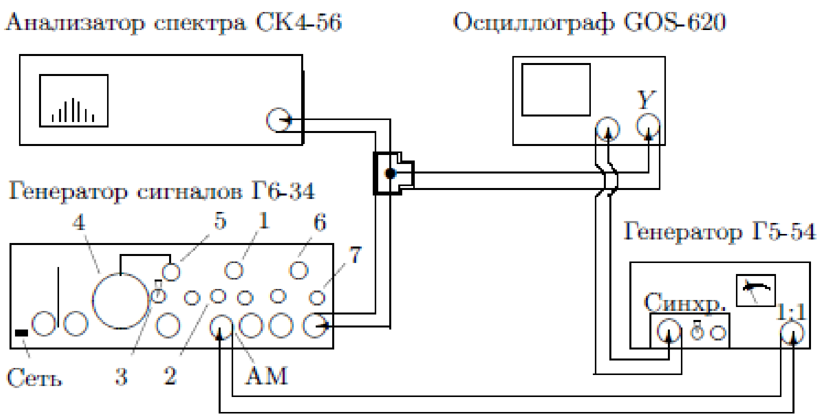
Построим график:



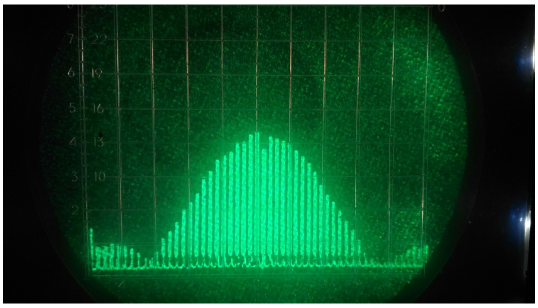

Отсюда убеждаемся, что соотношение неопределенностей справедливо.

## 4.2 Исследование спектра периодической последовательности цугов гармонических колебаний

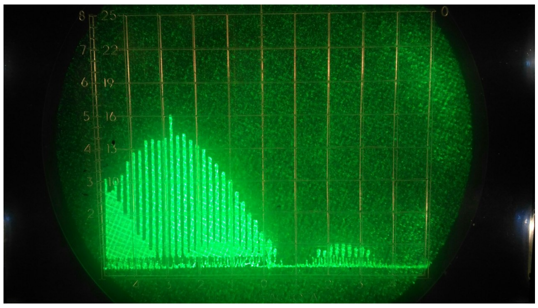
Соберем экспериментальную установку:



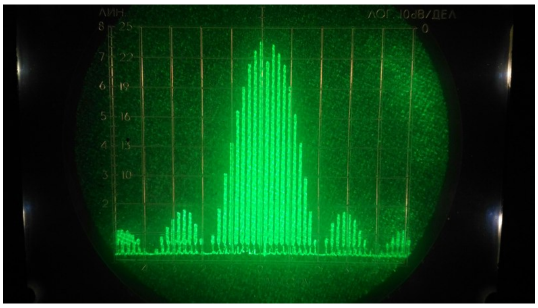

Установим несущую частоту $\nu_0 = 25$ кГц и получим спектры:



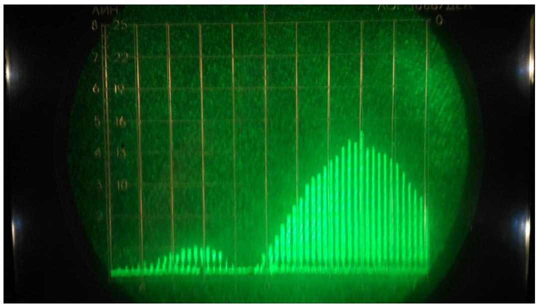
1кГц, 50мкс, $\nu_0 = 25$ кГц



1кГц, 50мкс $\nu_0 = 10$ кГц



1кГц, 100мкс, $\nu_0 = 25$ кГц

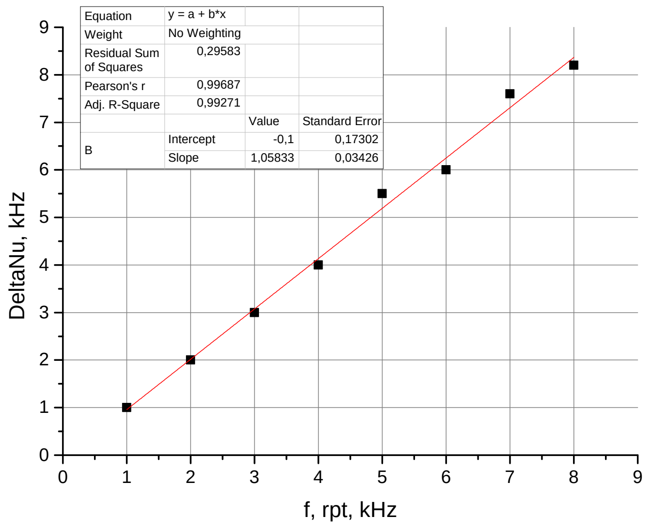


1кГц, 50мкс $\nu_0 = 40$ кГц

Сделаем измерения:

| $f_{\text{повт}}$, кГц | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| x, дел | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.27 | 3 | 3.8 | 4.1 |
| $\Delta\nu$, кГц | 1 | 2 | 3 | 4 | 5.5 | 6 | 7.6 | 8.2 |

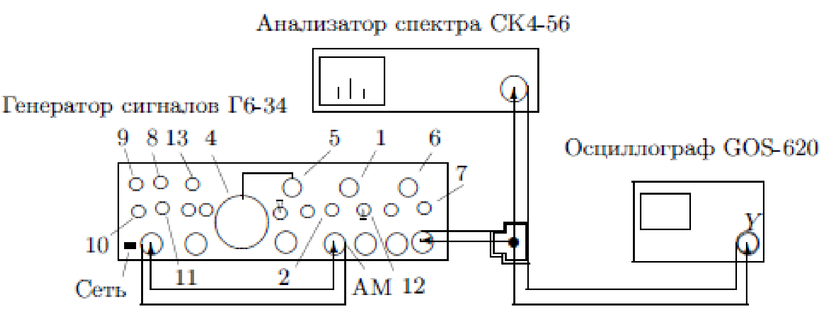
Построим график:




Отсюда также убеждаемся в справедливости соотношения неопределенностей.

## 4.3 Исследование спектра амплтиудно-модулированных гармонических колебаний

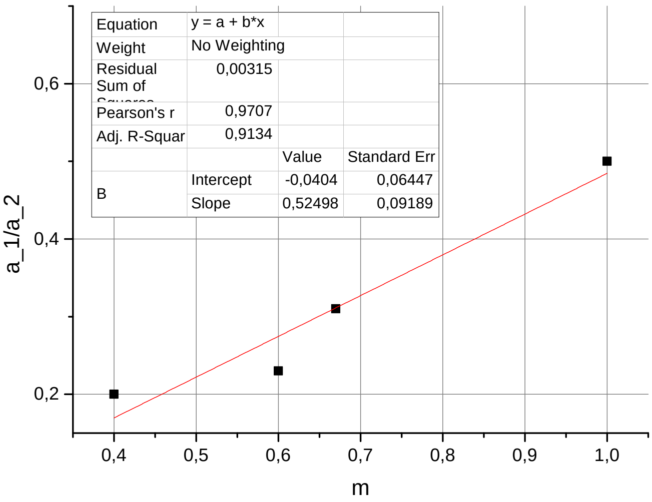
Соберем установку:



Сделаем измерения:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $2A_{min}$ | 0 | 0.04 | 0.04 | 0 | 0.06 |
| $2A_{max}$ | 0.24 | 0.20 | 0.16 | 0.44 | 0.14 |
| $a_{\text{бок}}$ | 2.17 | 1.33 | 1 | 2.50 | 0.80 |
| $a_{\text{осн}}$ | 4.33 | 4.33 | 4.33 | 4.00 | 4.00 |
| $m$ | 1 | 0.67 | 0.6 | 1 | 0.4 |
| $a_{\text{бок}}/a_{\text{осн}}$ | 0.5 | 0.31 | 0.23 | 0.63 | 0.2 |

Построим график:




# 5 Вывод

Фурье-анализ позволяет получать спектр периодических электрических сигналов, что дает возможность исследовать большое количество свойств