



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»

Физико-технический институт  
Кафедра компьютерной инженерии и моделирования

Лабораторная работа № 4

**«Корреляционный анализ сигналов»**

По дисциплине  
«Обработка сигналов»

Выполнил:

Студент 3 курса

Направления подготовки

09.03.01 «Информатика

и вычислительная

техника» Группы ИВТ-

б-о-222

Чудопалов Богдан Андреевич

Проверил:

Таран Е.П.

«\_»\_\_\_\_\_20\_г.

Оценка:\_\_\_\_\_ Подпись:

\_\_\_\_\_

Симферополь, 2025

# Лабораторная работа № 4 «Корреляционный анализ сигналов»

**Цель работы:** разработать программное обеспечение, которое будет осуществлять корреляционный анализ сигналов.

<b>№ варианта</b>	2
<b>Сигналы</b>	б, г
<b><math>E_{\max}</math>, В</b>	2, 2
<b><math>t_{\text{и}}</math>, мкс</b>	4, 2

Рис. 1. Таблица вариантов.

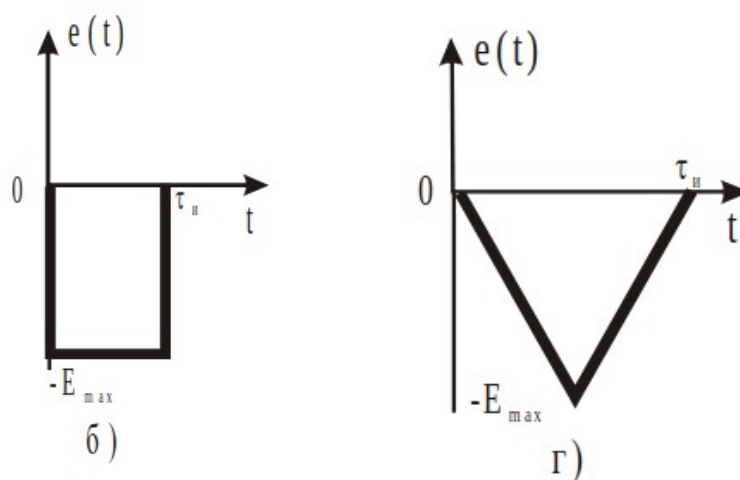


Рис. 2. Графики согласно варианту.

## Ход работы

1. Пройти инструктаж по технике безопасности работы в компьютерном классе, изучить инструкции по технике безопасности и правилам оказания первой медицинской помощи.
2. Заданы два сигнала (рисунок 4.1, таблица 4.1).
3. Разработать программное обеспечение по корреляционной обработке сигналов.
4. Определить автокорреляционные функции аналитическим методом.
5. Рассчитать взаимокорреляционную функцию двух сигналов и определить интервал корреляции, как сдвиг во времени, при котором величина взаимокорреляционной функции  $B_{uv}(\tau)$  становится меньше  $B_{uv \max}$ .
6. Построить графики автокорреляционных функций и взаимокорреляционной функции.

Вид автокорреляционных функций согласно моему варианту:

### 1. Автокорреляционная функция $H(t)$

**Сигнал:** Прямоугольный импульс длительностью  $T = 4$  мкс, амплитуда  $E = -2$ .

**АКФ:**

$$B_{HH}(\tau) = \begin{cases} -2 \cdot (-2) \cdot (T - |\tau|) = 4 \cdot (4 \cdot 10^{-6} - |\tau|), & |\tau| \leq 4 \cdot 10^{-6} \\ 0, & |\tau| > 4 \cdot 10^{-6} \end{cases}$$

**График:** Треугольный импульс с основанием  $8 \cdot 10^{-6}$  сек и вершиной  $16 \cdot 10^{-6}$  В<sup>2</sup>·с при  $\tau = 0$ .

### 2. Автокорреляционная функция $R(t)$

**Сигнал:** Треугольный импульс длительностью  $T = 2$  мкс, вершина при  $t = 1$  мкс, амплитуда  $E = -2$ .

**АКФ:**

$$B_{RR}(\tau) = \begin{cases} \frac{E^2}{6T} (T - |\tau|)^3 + \text{доп. члены}, & |\tau| \leq 2 \cdot 10^{-6} \\ 0, & |\tau| > 2 \cdot 10^{-6} \end{cases}$$

### 3. Взаимокорреляционная функция R → H ( $B_{RH}$ )

Сигналы:

- $R(t)$  - треугольный импульс (2 мкс)
- $H(t)$  - прямоугольный импульс (4 мкс)

ВКФ:

$$B_{RH}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} R(t) \cdot H(t + \tau) dt$$

Особенности:

- **Область ненулевых значений:**  $\tau \in [-2 \cdot 10^{-6}, 6 \cdot 10^{-6}]$
- **Максимум:** Находится при  $\tau$ , когда треугольный импульс  $R(t)$  полностью перекрывается с  $H(t)$
- **Форма:** Трапецеидальный участок с линейными спадами на краях

### 4. Взаимокорреляционная функция H → R ( $B_{HR}$ )

$$B_{HR}(\tau) = B_{RH}(-\tau)$$

Свойство взаимности: максимумы и форма зеркально симметричны относительно  $\tau = 0$ .

### 5. Расчет интервала корреляции

Участок  $\tau \in [0, 4 \text{ мкс}]$  (правая граница)

Для упрощения аппроксимируем спад  $B_{RH}(\tau)$  **линейной функцией**:

$$B_{RH}(\tau) \approx B_{RH}^{max} \cdot \left(1 - \frac{\tau}{T_H}\right)$$

Решаем уравнение для порога:

$$4 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 - \frac{\tau}{4 \text{ мкс}}\right) = 0.4 \cdot 10^{-6} \Rightarrow 1 - \frac{\tau}{4} = 0.1 \Rightarrow \tau = 4 \cdot 0.9 = 3.6 \text{ мкс}$$

Учет левой границы ( $\tau < 0$ )

$$\tau_{\text{сорт}} \approx 2 \cdot 3.6 \text{ мкс} = 7.2 \text{ мкс}$$

Вывод программы имел следующий вид:

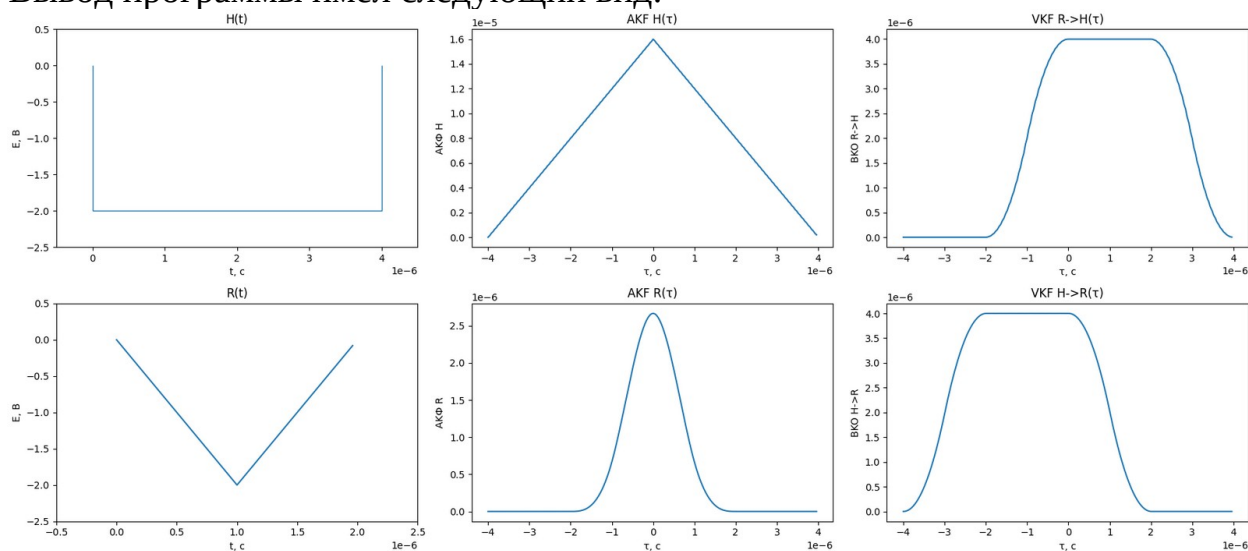


Рис. 3. Вывод программы.

Как видно из вывода, все необходимые графики были построены.

**Вывод:** в ходе работы было разработано ПО, которое решает поставленные задачи, а также аналитически рассчитаны все необходимые величины.

## Приложение

```
def H(t):  
    return E_min if 0 <= t <= t_i_H else 0  
  
|  
def R(t):  
    if t < 0 or t > t_i_R:  
        return 0  
    if t <= t_i_R/2:  
        return (2*E_min/t_i_R) * t  
    else:  
        return 2*E_min - (2*E_min/t_i_R) * t
```

1.1. Определение функций сигналов.

```
chart_akf_H_tau = []  
tau_val = -t_i  
step_tau = t_i / 100  
while tau_val <= t_i:  
    y = 0.0  
    i = a  
    while i <= b:  
        val = H(i)*H(i + tau_val)  
        y += val if (abs(i-a)<1e-14 or abs(i-b)<1e-14) else 2*val  
        i += step_integral  
    y *= (step_integral / 2)  
    chart_akf_H_tau.append((tau_val, y))  
    tau_val += step_tau
```

1.2. Вычисление автокорреляционной функции для H(t).

```
chart_akf_R_tau = []  
tau_val = -t_i  
while tau_val <= t_i:  
    y = 0.0  
    i = a  
    while i <= b:  
        val = R(i)*R(i + tau_val)  
        y += val if (abs(i-a)<1e-14 or abs(i-b)<1e-14) else 2*val  
        i += step_integral  
    y *= (step_integral / 2)  
    chart_akf_R_tau.append((tau_val, y))  
    tau_val += step_tau
```

1.3. Вычисление автокорреляционной функции (АКФ) для R(t)

```

chart_vkf_R_H_tau = []
tau_val = -t_i
while tau_val <= t_i:
    y = 0.0
    i = a
    while i <= b:
        val = R(i)*H(i + tau_val)
        y += val if (abs(i-a)<1e-14 or abs(i-b)<1e-14) else 2*val
        i += step_integral
    y *= (step_integral / 2)
    chart_vkf_R_H_tau.append((tau_val, y))
    tau_val += step_tau

```

1.4. Вычисление взаимной корреляционной функции:  $R \rightarrow H$ .

```

chart_vkf_H_R_tau = []
tau_val = -t_i
while tau_val <= t_i:
    y = 0.0
    i = a
    while i <= b:
        val = H(i)*R(i + tau_val)
        y += val if (abs(i-a)<1e-14 or abs(i-b)<1e-14) else 2*val
        i += step_integral
    y *= (step_integral / 2)
    chart_vkf_H_R_tau.append((tau_val, y))
    tau_val += step_tau

```

1.5. Вычисление взаимной корреляционной функции:  $H \rightarrow R$ .

```

# H(t)
axs[0,0].stairs(values_H, edges=edges_H, baseline=0, fill=False)
axs[0,0].set_title("H(t)")
axs[0,0].set_xlabel("t, c")
axs[0,0].set_ylabel("E, B")
axs[0,0].set_xlim(-0.5e-6, 4.5e-6)
axs[0,0].set_ylim(-2.5, 0.5)

# AKF H( $\tau$ )
axs[0,1].plot(*zip(*chart_akf_H_tau))
axs[0,1].set_title("AKF H( $\tau$ )")
axs[0,1].set_xlabel(" $\tau$ , c")
axs[0,1].set_ylabel("AK $\Phi$  H")

# VKF R->H( $\tau$ )
axs[0,2].plot(*zip(*chart_vkf_R_H_tau))
axs[0,2].set_title("VKF R->H( $\tau$ )")
axs[0,2].set_xlabel(" $\tau$ , c")
axs[0,2].set_ylabel("BK0 R->H")

# R(t)
x_R, y_R = zip(*chart_R)
axs[1,0].plot(x_R, y_R)
axs[1,0].set_title("R(t)")
axs[1,0].set_xlabel("t, c")
axs[1,0].set_ylabel("E, B")
axs[1,0].set_xlim(-0.5e-6, 2.5e-6)
axs[1,0].set_ylim(-2.5, 0.5)

# AKF R( $\tau$ )
axs[1,1].plot(*zip(*chart_akf_R_tau))
axs[1,1].set_title("AKF R( $\tau$ )")
axs[1,1].set_xlabel(" $\tau$ , c")
axs[1,1].set_ylabel("AK $\Phi$  R")

# VKF H->R( $\tau$ )
axs[1,2].plot(*zip(*chart_vkf_H_R_tau))
axs[1,2].set_title("VKF H->R( $\tau$ )")
axs[1,2].set_xlabel(" $\tau$ , c")
axs[1,2].set_ylabel("BK0 H->R")

plt.tight_layout()
plt.show()

```

## 1.6. Визуализация.