

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра АПУ**

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе №1**  
**по дисциплине «Теория автоматического управления. Часть 2.**  
**Нелинейные системы»**  
**Тема: Типовые нелинейности в моделях систем**  
**управления**

Студент гр. 2392

\_\_\_\_\_

Жук Ф.П.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Имаев Д.Х.

Санкт-Петербург

2025

## Цель работы.

Изучение характеристик безынерционных нелинейных элементов (НЭ) и их влияния на различные типы сигналов.

## Обработка результатов эксперимента.

Зададим 3 сигнала используя `numpy` и `scipy`. Начальные условия:

- Вариант номер 8
- Период дискретизации сигнала: 0.01 с
- Амплитуда тестового сигнала: 1.8
- Частота тестового сигнала:  $2.9 \times 10^1$  Гц
- Длительность тестового сигнала: 100 с
- Параметр нелинейностей 1: 1.3
- Коэффициент усиления линейного звена: 2.9
- Постоянная времени линейного звена: 1.7

Используя начальные условия зададим вектор времени `t = np.arange(0, test_signal_duration, dt)`

Используя вектор времени зададим сигналы (рис. 1)

1. Синус - `sig_sin = np.sin(t * 2 * np.pi)`
2. Пилообразный сигнал - `pil_signal = signal.sawtooth(t)`
3. Меандр - `mea_signal = signal.square(t)`

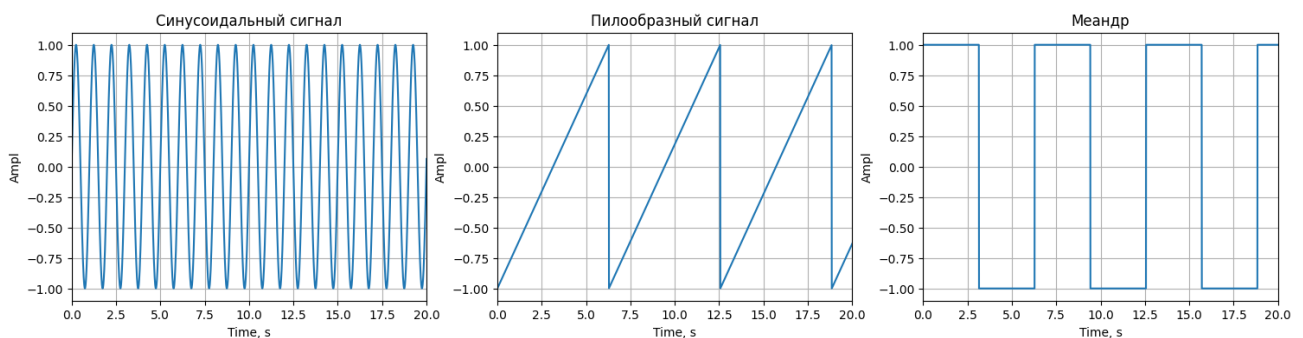


Рис. 1 – Графики сигналов

Опишем НЭ используя функции из numpy:

1. Идеальное реле (рис. 2)

```
def relay(sig):  
    return np.sign(sig)
```

Рис. 2 – Функция идеального реле

2. Зона нечувствительности (рис. 3)

```
def dead_sone(sig, width = 0.5):  
    def dead_zone_scalar(x, width = 0.5):  
        if np.abs(x)<width:  
            return 0  
        elif x>0:  
            return x-width  
        else:  
            return x+width  
    out = list(map(dead_zone_scalar, sig))  
    return np.array(out)
```

Рис. 3 – Функция зоны чувствительности

3. Насыщение (Рис. 4)

```
def saturation(sig, limit=0.5):  
    return np.clip(sig, -limit, limit)
```

Рис. 4 – Функция насыщения

Напишем функцию которая принимает два аргумента: входной сигнал и функцию НЭ (рис. 5). Данная функция выводит информацию о графиках и спектрах полученных функций.

```
def print_data(sig, NE_funk, title = None):

    fig, ax = plt.subplots(ncols=3, figsize=(12, 4))
    if title:
        fig.suptitle(title)

    ax[0].grid()
    ax[0].set_title('Сигналы')
    ax[0].set_xlabel('Time, s')
    ax[0].set_ylabel('Ampl')
    ax[0].set_xlim(0, 10)
    ax[0].plot(t, sig, 'b', label = 'Исходный сигнал')
    ax[0].plot(t, NE_funk(sig), 'r', label = 'Сигнал прошедший НЭ')

    ax[0].legend(fontsize=7, loc = 'lower right')

    ax[1].grid()
    ax[1].set_title('Спектр исходного сигнала')
    spec = np.abs(np.fft.fft(sig))
    freqs = np.fft.fftfreq(sig.shape[0], dt)
    ax[1].set_xlabel('Частота, Гц')
    ax[1].set_xlim(-10, 10)
    ax[1].plot(freqs, spec)

    ax[2].grid()
    ax[2].set_title('Спектр сигнала НЭ')
    spec = np.abs(np.fft.fft(NE_funk(sig)))
    freqs = np.fft.fftfreq(NE_funk(sig).shape[0], dt)
    ax[2].set_xlabel('Частота, Гц')
    ax[2].set_xlim(-10, 10)
    ax[2].plot(freqs, spec)

    fig.show()
```

Рис. 5 – Функция анализа сигналов

Используя полученные сигналы и НЭ зададим соответствующие списки

Список сигналов:

```
sig = {
    'Синусоидальный сигнал':sig_sin,
    'Пилообразный сигнал':pil_signal,
    'Меандр':mea_signal
}
```

Список НЭ функций

```
NE_func = {
    "идеальное реле":relay,
    "зона нечувствительности":dead_sone,
    "насыщение":saturation
```

}

Используя списки и функцию анализа сигналов, проведем опыты для всех комбинаций сигналов и НЭ (рис. 6).

```
for NE_name in NE_func.keys():
    for sig_name in sig.keys():
        print_data(sig[sig_name], NE_func[NE_name], sig_name+' и '+NE_name)
```

Рис. 6 – Анализ всевозможных комбинаций

Идеальное реле (рис. 7)

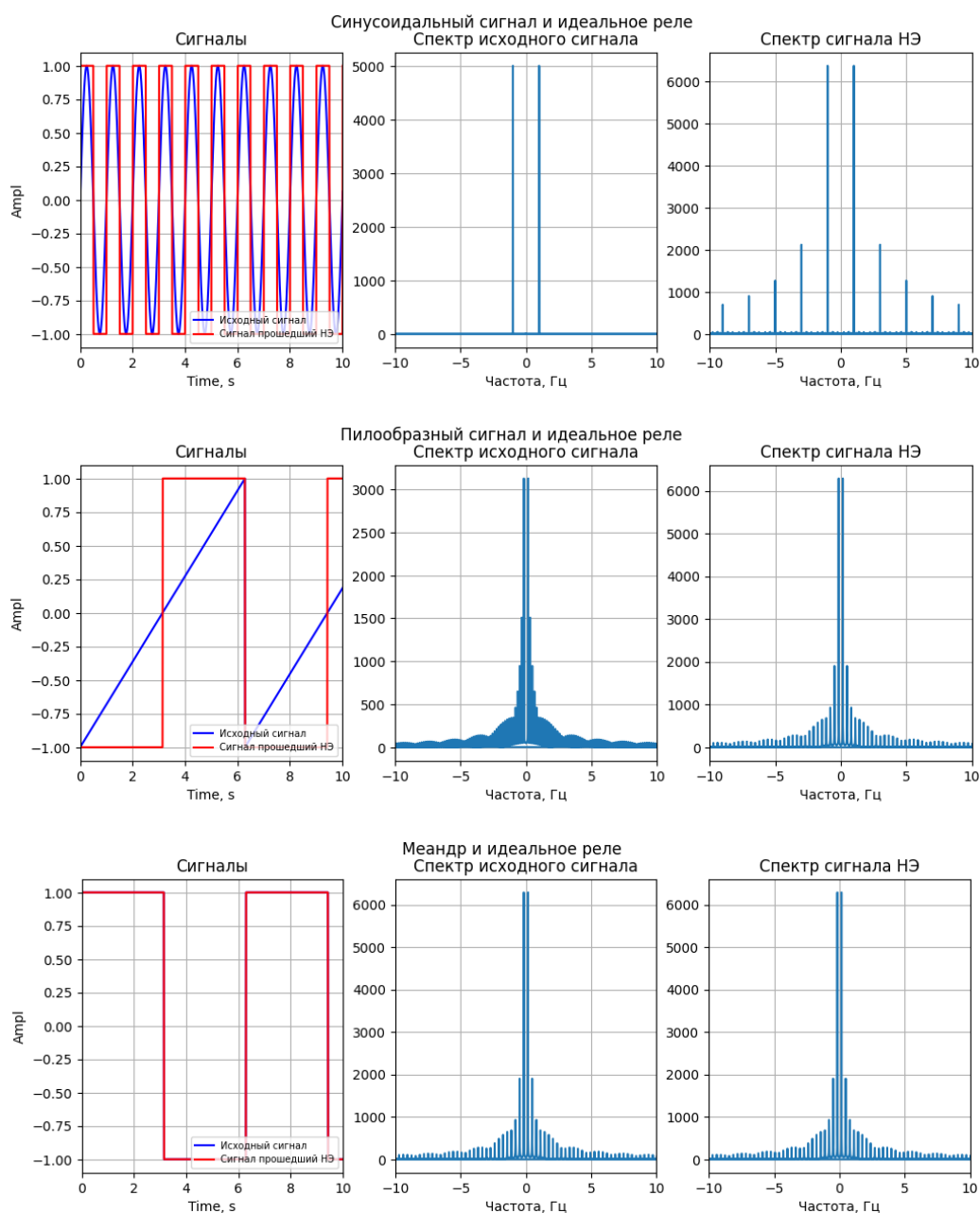


Рис. 7 - Идеальное реле

Проанализировав графики, идеального роле преобразует сигнал в двухуровневый и обогащает спектр нечетными гармониками.

Зона нечувствительности (рис. 8)

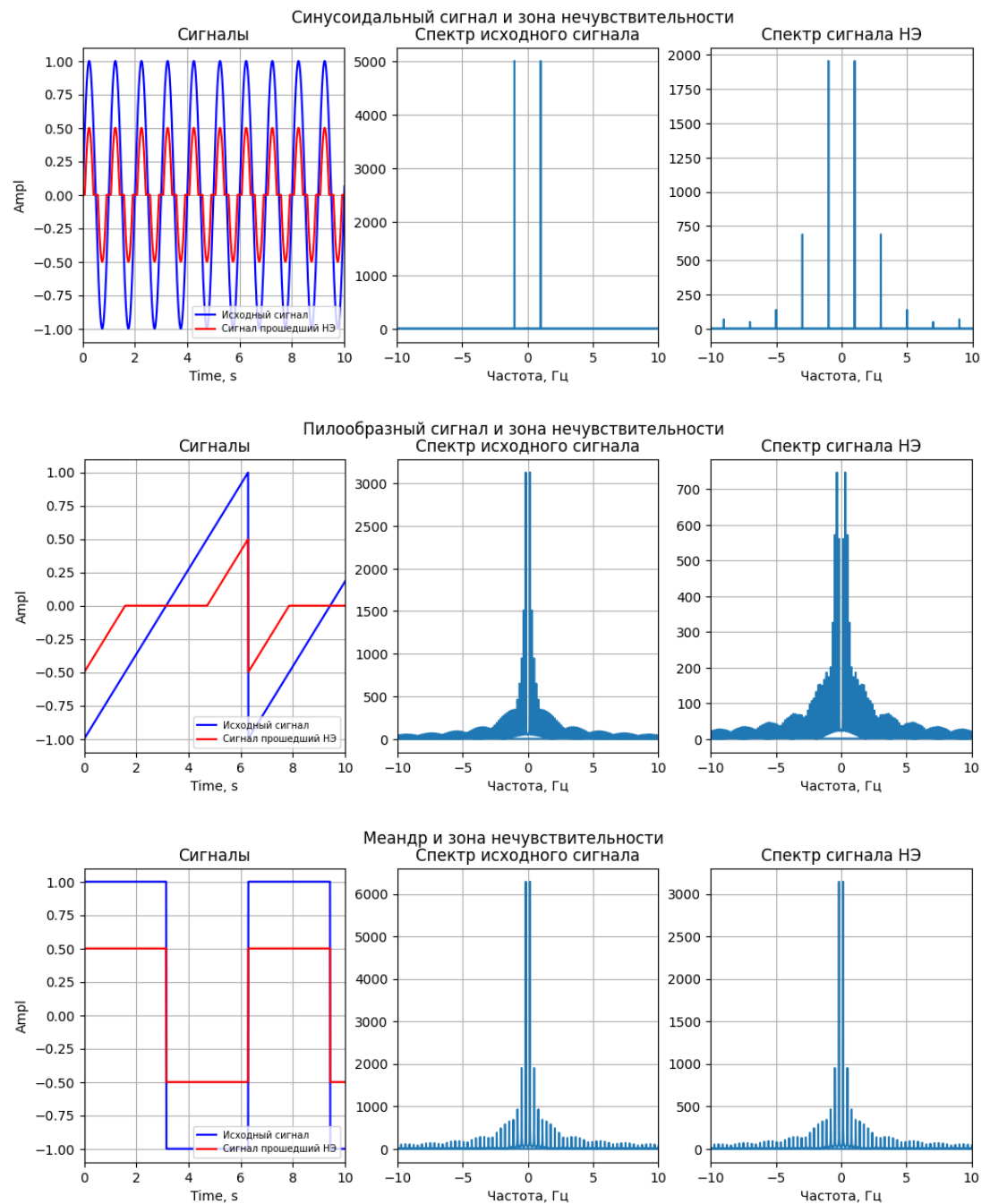


Рис. 8 - Зона нечувствительности

Проанализировав графики, зона нечувствительности обнуляет малые значения сигнала (выступая как шумоподавление слабых сигналов) и искажает форму сигнала, сохраняя линейность вне зоны.

## Насыщение (рис. 9)

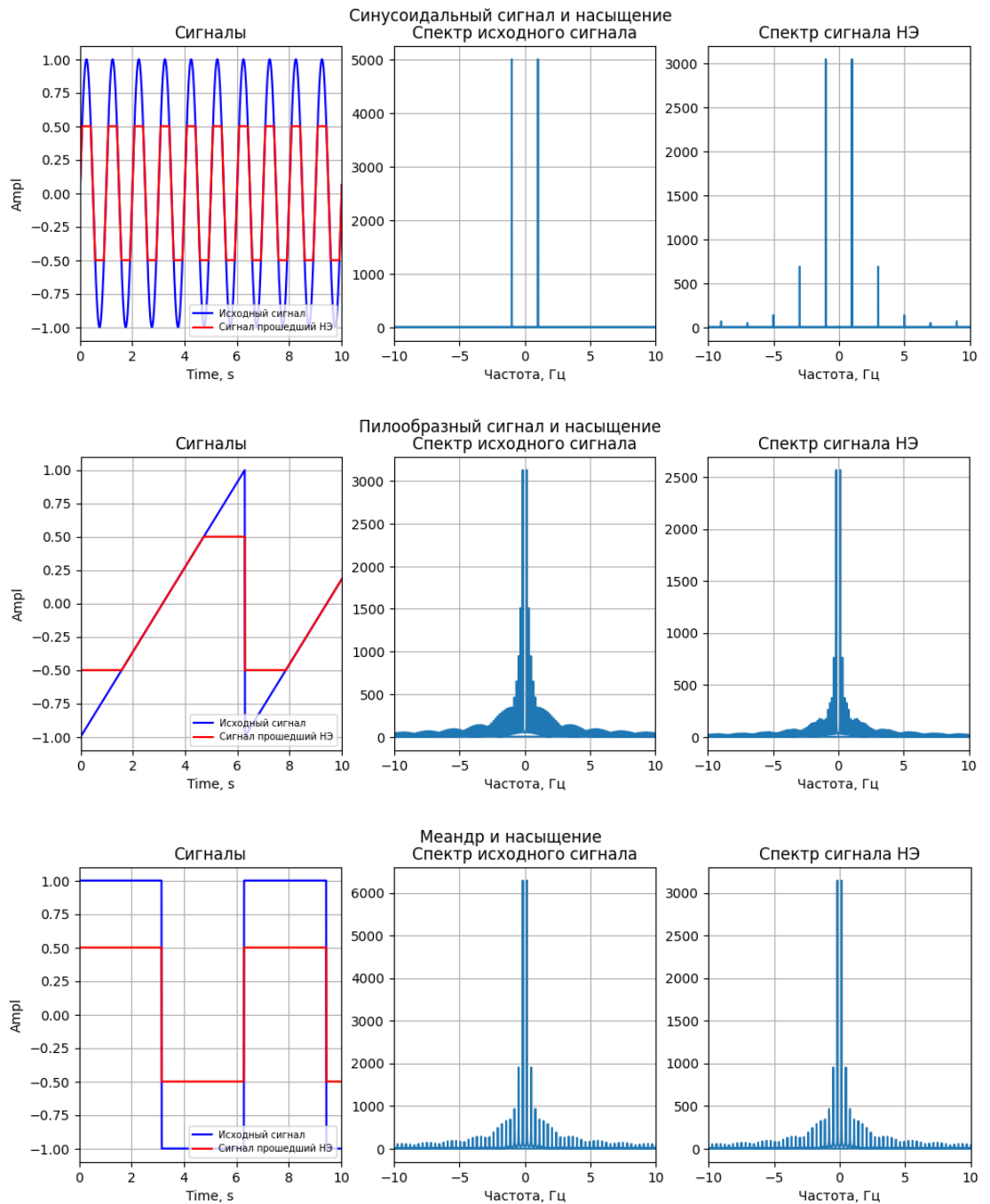


Рис. 9 – Насыщение

Проанализировав графики, насыщение ограничивает амплитуду, предотвращая выход за зоны измерения, в спектре появляются более выраженные гармоники из-за пиков.

## **Выводы.**

Проведённые исследования подтвердили существенное влияние нелинейных элементов на форму и спектр сигналов. Идеальное реле преобразует входные колебания в двухуровневый сигнал, генерируя высшие гармоники. Зона нечувствительности подавляет малые амплитуды, что полезно для фильтрации шумов, но искажает исходную форму сигнала. Насыщение ограничивает амплитуду, предотвращая перегрузки, однако вызывает «срез» пиков и появление гармоник. Выбор типа нелинейности должен основываться на требованиях системы: защита от перегрузок, подавление шумов или формирование релейных алгоритмов. Полученные результаты демонстрируют необходимость учёта нелинейных эффектов при проектировании систем управления.