

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Севастопольский государственный университет»**

Институт радиоэлектроники и интеллектуальных технических систем  
Кафедра «Информатика и управление в технических системах»



## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторной работы  
**«Визуализация данных с помощью библиотеки  
Matplotlib. Работа с библиотекой Control Systems»**

по дисциплине  
**«Обработка данных в автоматизированных системах»**

*для студентов очной формы обучения направления 27.03.04  
«Управление в технических системах» (профиль подготовки  
«Интеллектуальные робототехнические системы»)*

Севастополь — 2023

УДК 004.6

**Методические указания к выполнению лабораторной работы «Визуализация данных с помощью библиотеки Matplotlib. Работа с библиотекой Control Systems»** по дисциплине «Обработка данных в автоматизированных системах» для студентов очной формы обучения направления 27.03.04 «Управление в технических системах» (профиль подготовки «Интеллектуальные робототехнические системы») / Сост. Альчаков В.В. — Севастополь: Изд-во ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2023. — с. 42.

**Методические указания:**

рассмотрены и рекомендованы к изданию решением кафедры «Информатика и управление в технических системах», протокол № Х от ХХ.ХХ.2023 г.;

допущены учебно-методическим центром ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» в качестве методических указаний.

**Рецензент:**

Крамарь В.А., д-р техн. наук., профессор, профессор кафедры «Информатика и управление в технических системах» СевГУ.

© СевГУ, 2023

© Альчаков В.В., 2023

## Содержание

Цель работы.....	4
Порядок выполнения и задание на работу.....	4
Требования к отчёту по лабораторной работе.....	4
Основные теоретические сведения.....	5
Задание на работу.....	6
Пример выполнения задания.....	17
Контрольные вопросы.....	25
Список использованных источников.....	26

## Цель работы

Изучить возможности визуализации данных с помощью библиотеки Matplotlib. Изучить возможность исследования систем автоматического управления с помощью библиотеки Control System.

## Порядок выполнения и задание на работу

1. В соответствии с вариантом задания построить график функции  $y=f(x)$ . Выполнить декорирование области построения (добавить сетку, подписи по осям, легенду).
2. Выполнить построение графика различными способами: линия, точки, гистограмма, круговая диаграмма.
3. Добавить возможность сохранения графика в файл.
4. Подключить библиотеку Python Control Systems Library <https://python-control.readthedocs.io/>
5. Задать передаточную функцию в соответствии с вариантом задания, построить реакцию системы на единичный скачок, импульсное воздействие и частотные характеристики
6. Разбить область построения графика на подобласти, выполнить построение графиков в отдельных подобластях.

## Требования к отчёту по лабораторной работе

Отчёт о выполненной лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- цель лабораторной работы;
- основные положения;
- вывод по работе.

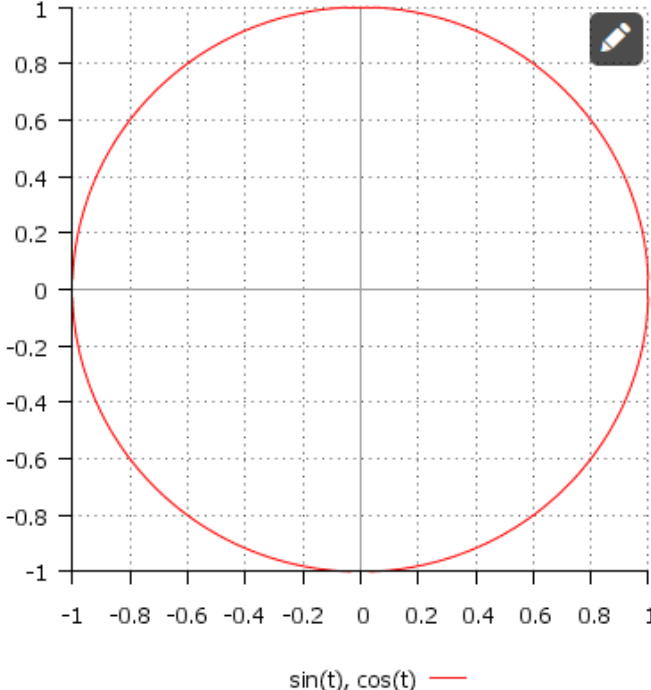
Отчёт составляется каждым обучающимся индивидуально и должен соответствовать варианту задания, назначенного преподавателем.

В отчёте к данной лабораторной работе необходимо привести описание работы с структурными элементами графиков с помощью библиотеки Matplotlib. Описание функций для создания и анализа систем управления. Пример анализа системы в соответствии с вариантом задания.

## **Основные теоретические сведения**

см. лекционный материал

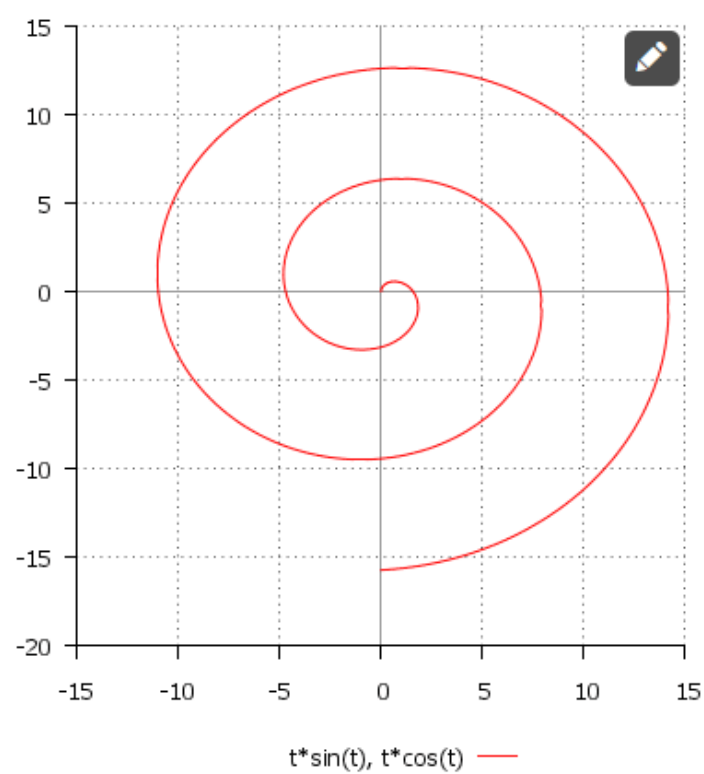
## Задание на работу

№	Функция и вид графика
1	<p data-bbox="266 311 504 344">Окружность #</p> <div data-bbox="266 367 992 445"><math display="block">x = \sin(t), \quad y = \cos(t), \quad t \in [0; 2\pi]</math></div>  <p data-bbox="592 1144 770 1167">sin(t), cos(t) —</p>

2

## Спираль #

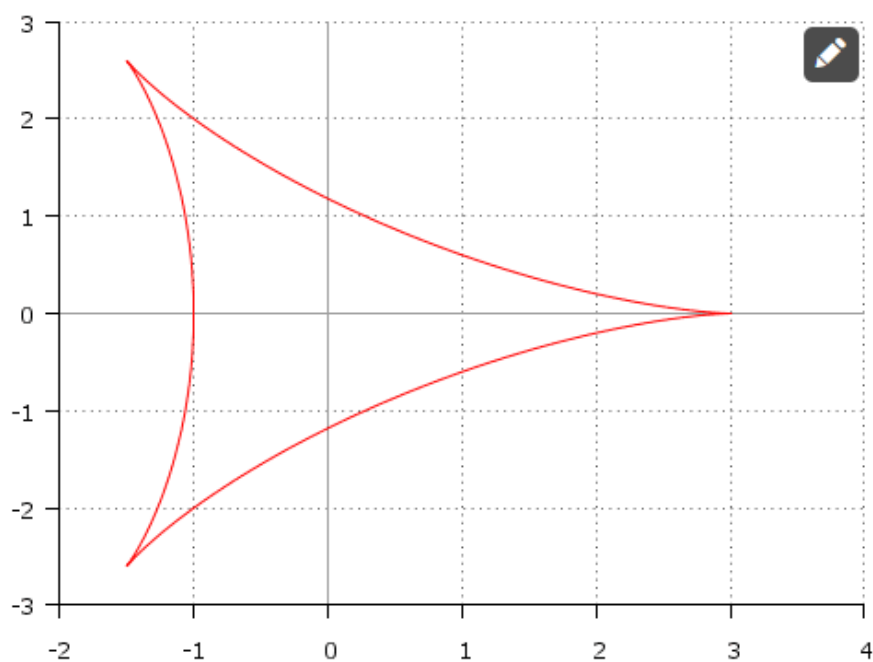
$$x = t \sin(t), \quad y = t \cos(t), \quad t \in [0; 5\pi]$$



3

## Дельтоида #

$$x = 2 \cos(t) + \cos(2t), \quad y = 2 \sin(t) - \sin(2t), \quad t \in [0; 2\pi]$$

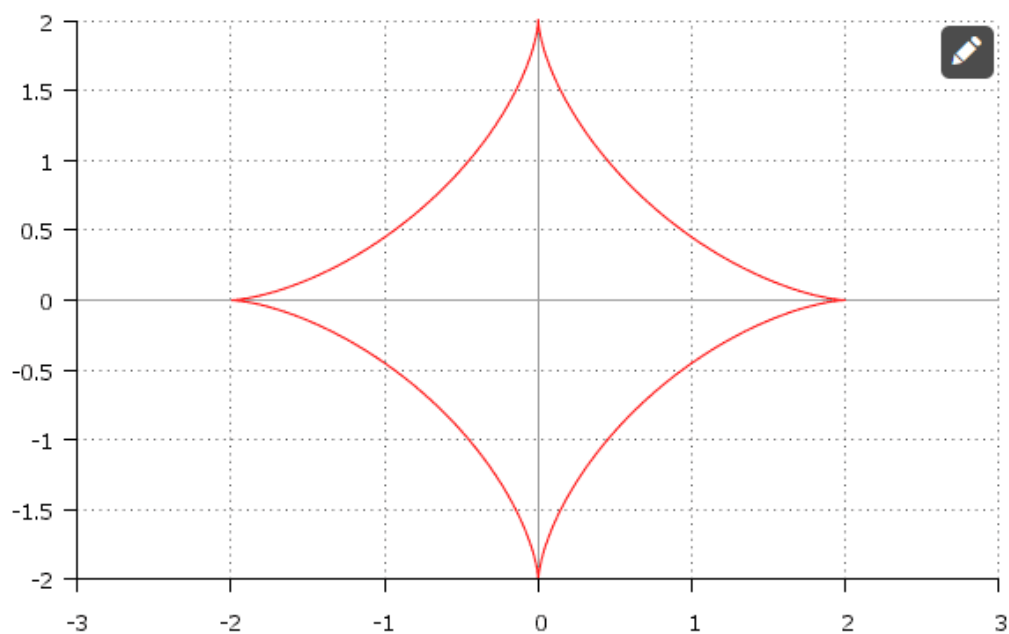


$$2*\cos(t)+\cos(2*t), 2*\sin(t)-\sin(2*t) \text{ —}$$

4

## Астроида #

$$x = 2 \sin^3(t), \quad y = 2 \cos^3(t), \quad t \in [0; 2\pi]$$



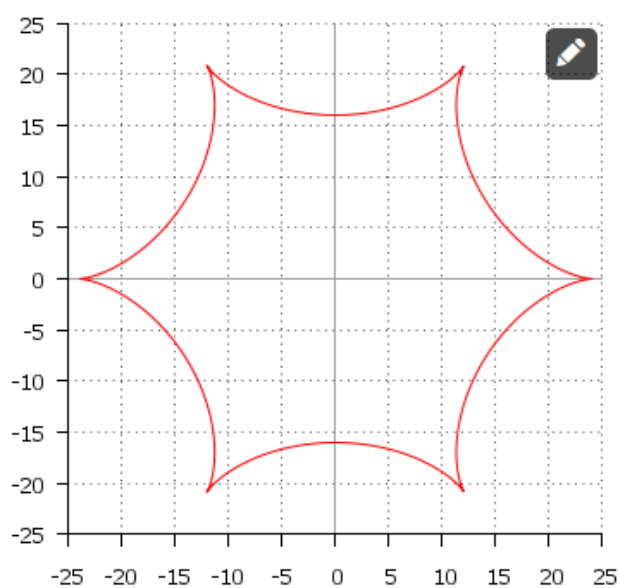
$$2*\sin(t)^3, 2*\cos(t)^3 \text{ —}$$



5

## Гипоциклоиды #

$$x = 20 \left( \cos(t) + \frac{\cos(5t)}{5} \right), \quad y = 20 \left( \sin(t) - \frac{\sin(5t)}{5} \right), \quad t \in [0; 2\pi]$$

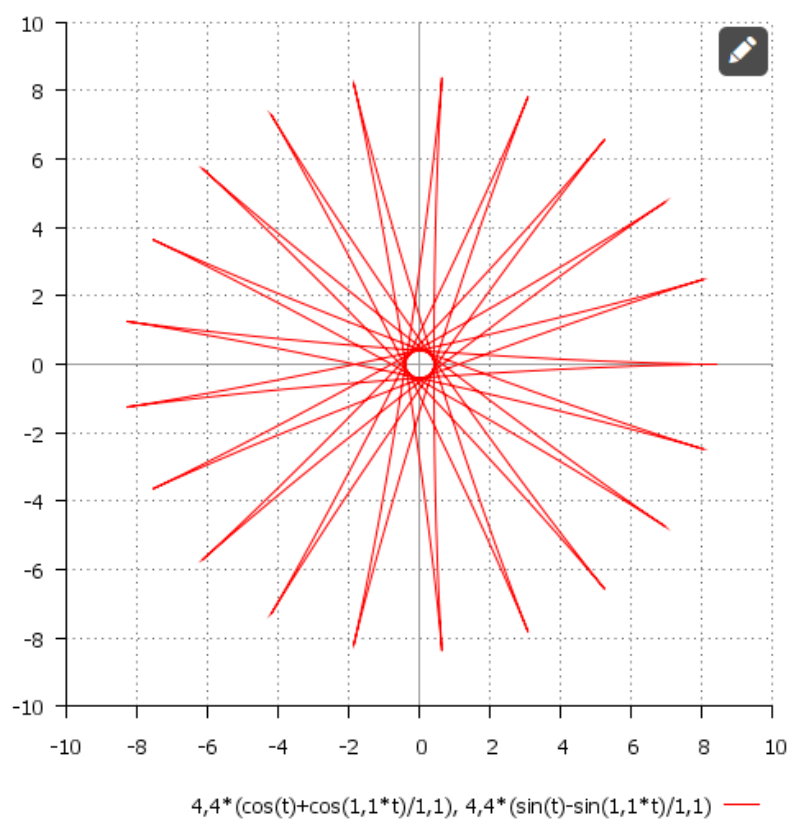


$20 * (\cos(t) + \cos(5 * t) / 5), 20 * (\sin(t) - \sin(5 * t) / 5)$  —

6

$$x = 4,4 \left( \cos(t) + \frac{\cos(1,1t)}{1,1} \right), \quad y = 4,4 \left( \sin(t) - \frac{\sin(1,1t)}{1,1} \right)$$

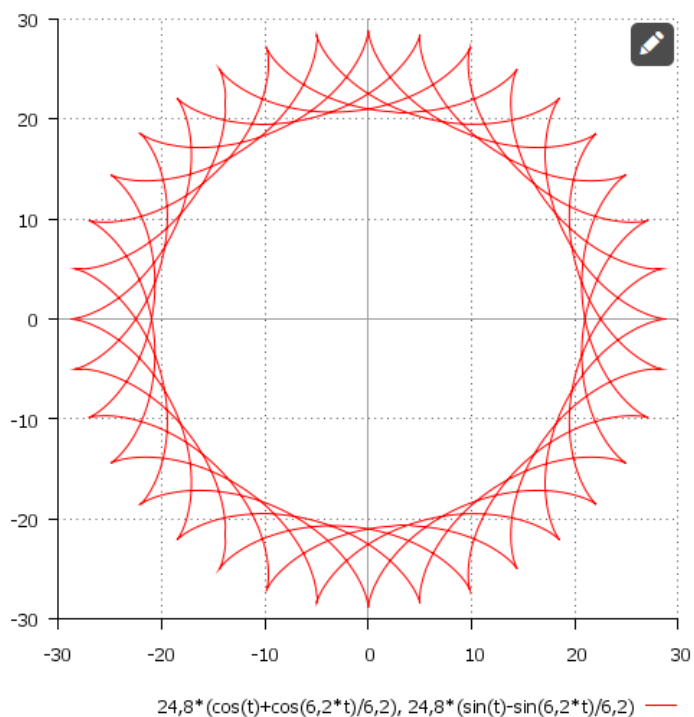
$$t \in [0; 20\pi]$$



7

$$x = 24,8 \left( \cos(t) + \frac{\cos(6,2t)}{6,2} \right), \quad y = 24,8 \left( \sin(t) - \frac{\sin(6,2t)}{6,2} \right)$$

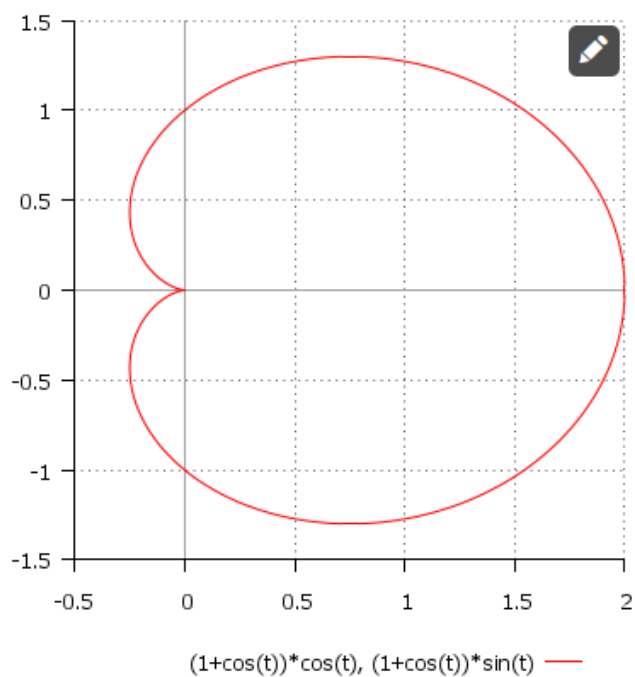
$$t \in [0; 10\pi]$$



8

Кардиоида #

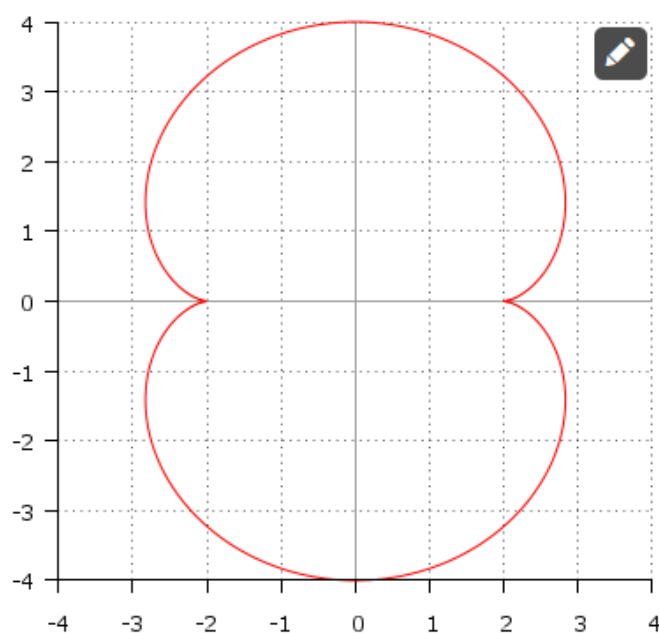
$$x = (1 + \cos(t)) \cos(t), \quad y = (1 + \cos(t)) \sin(t), \quad t \in [0; 2\pi]$$



9

## Нефроида #

$$x = 6 \cos(t) - 4 \cos^3(t), \quad y = 4 \sin^3(t), \quad t \in [0; 2\pi]$$

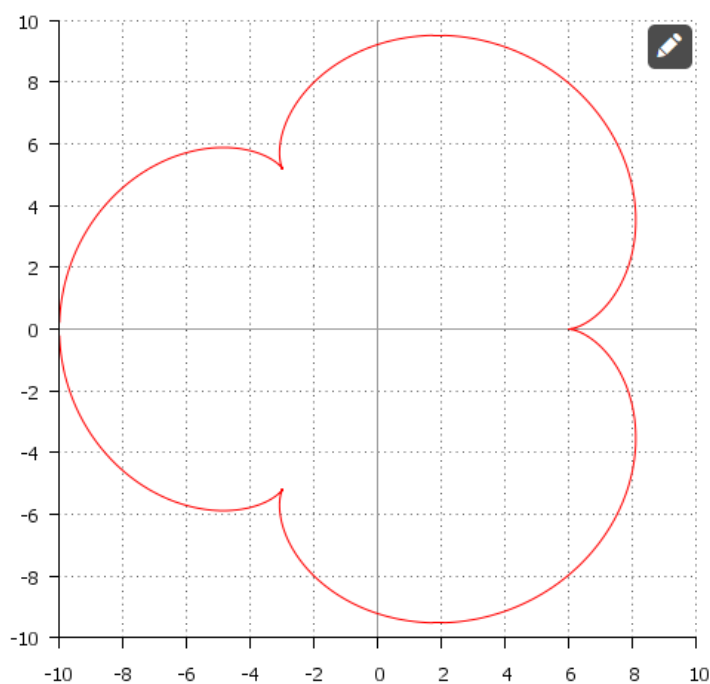


$$6*\cos(t)-4*\cos(t)^3, 4*\sin(t)^3 \text{ —}$$

10

## Эпициклоиды #

$$x = 8 \left( \cos(t) - \frac{\cos(4t)}{4} \right), \quad y = 8 \left( \sin(t) - \frac{\sin(4t)}{4} \right), \quad t \in [0; 2\pi]$$

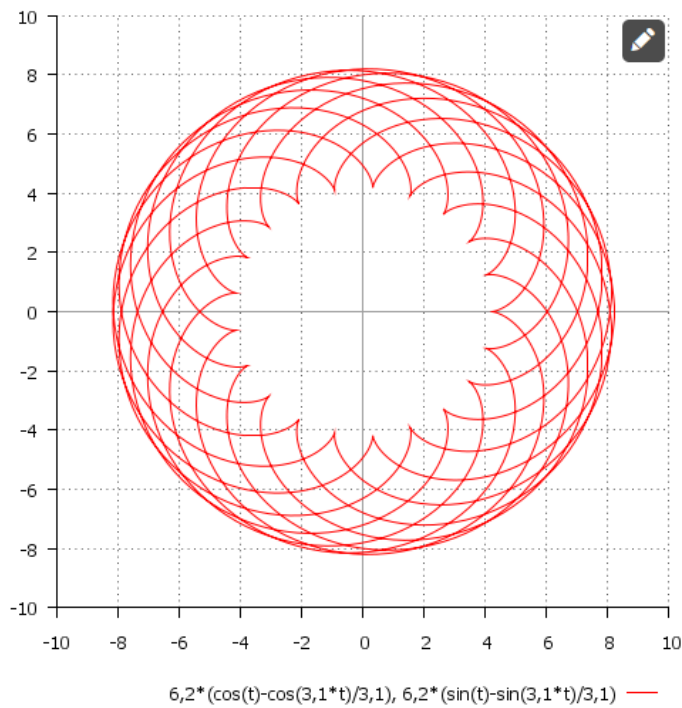


$$8*(\cos(t)-\cos(4*t)/4), 8*(\sin(t)-\sin(4*t)/4) \text{ —}$$

11

$$x = 6,2 \left( \cos(t) - \frac{\cos(3,1t)}{3,1} \right), \quad y = 6,2 \left( \sin(t) - \frac{\sin(3,1t)}{3,1} \right)$$

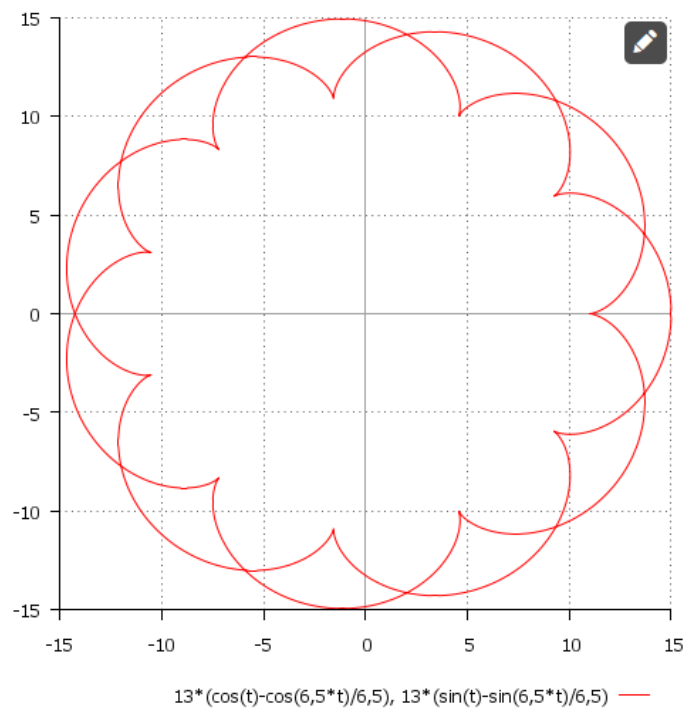
$$t \in [0; 20\pi]$$



12

$$x = 13 \left( \cos(t) - \frac{\cos(6,5t)}{6,5} \right), \quad y = 13 \left( \sin(t) - \frac{\sin(6,5t)}{6,5} \right)$$

$$t \in [0; 4\pi]$$



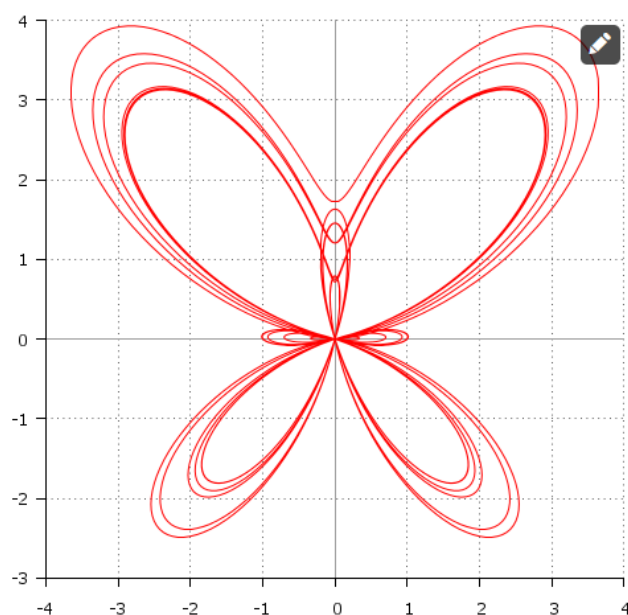
13

Бабочка #

$$x = \sin(t) \left( e^{\cos(t)} - 2 \cos(4t) + \sin^5\left(\frac{1}{12}t\right) \right)$$

$$y = \cos(t) \left( e^{\cos(t)} - 2 \cos(4t) + \sin^5\left(\frac{1}{12}t\right) \right)$$

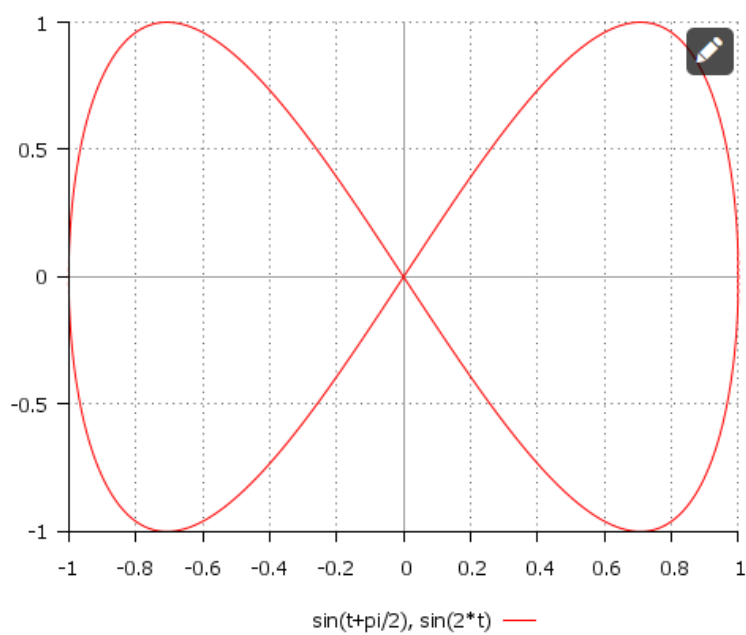
$$t \in [0; 12\pi]$$



14

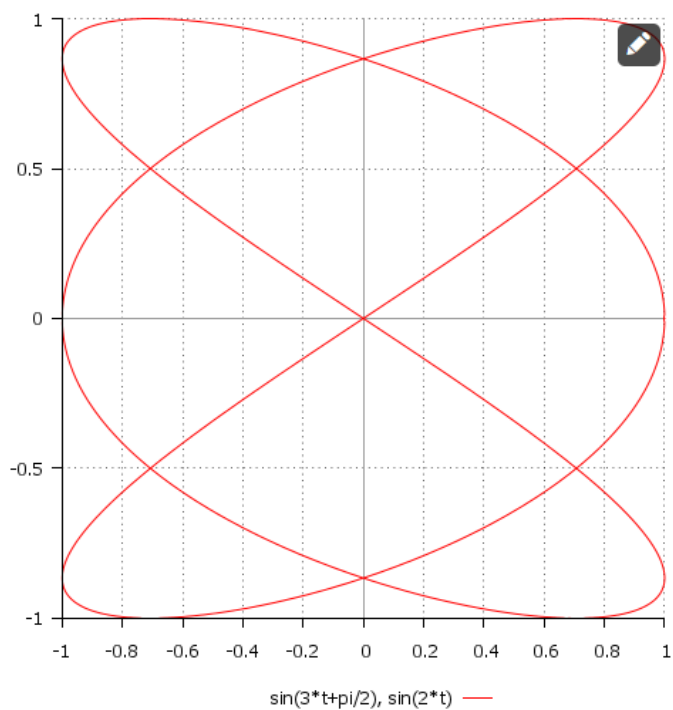
Фигуры Лиссажу #

$$x(t) = \sin\left(t + \frac{\pi}{2}\right), \quad y(t) = \sin(2t), \quad t \in [0; 2\pi]$$



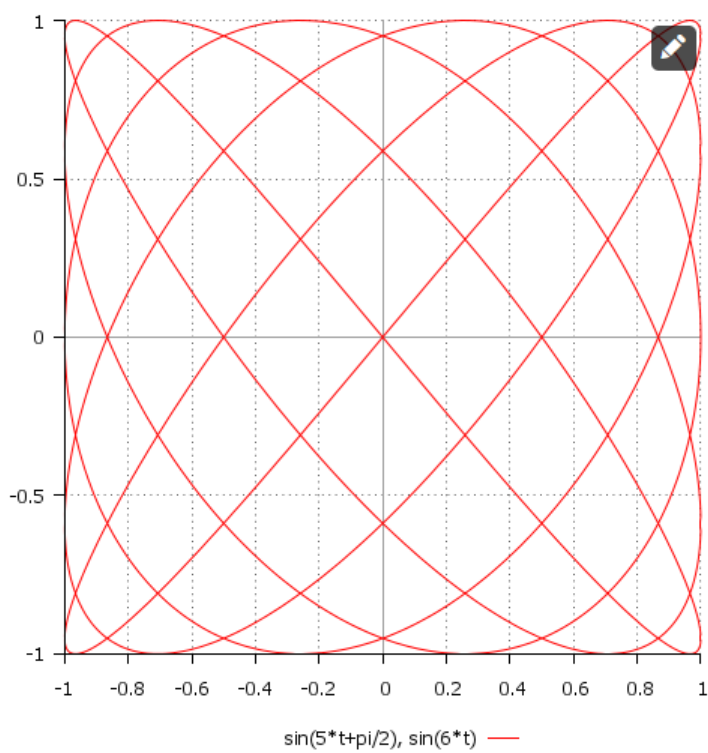
15

$$x(t) = \sin\left(3t + \frac{\pi}{2}\right), \quad y(t) = \sin(2t), \quad t \in [0; 2\pi]$$



16

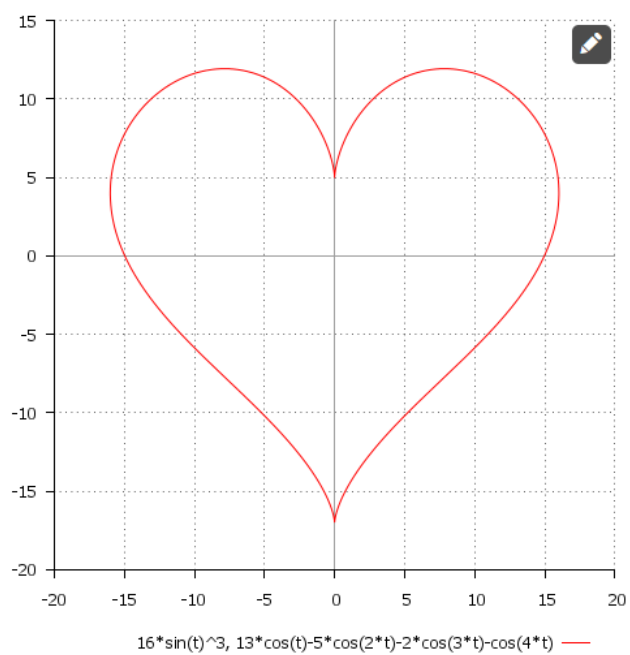
$$x(t) = \sin\left(5t + \frac{\pi}{2}\right), \quad y(t) = \sin(6t), \quad t \in [0; 2\pi]$$



$$x(t) = 16 \sin^3(t)$$

$$y(t) = 13 \cos(t) - 5 \cos(2t) - 2 \cos(3t) - \cos(4t)$$

$$t \in [0; 2\pi]$$





## Пример выполнения задания

Для выполнения задания понадобятся две библиотеки: NumPy и Matplotlib. Поэтому прежде всего подключим эти библиотеки к нашему коду Python.

```
In [1]: # Построение фигуры Лиссажу
import numpy as np # Импорт библиотеки NumPy
import matplotlib.pyplot as plt # Импорт библиотеки Matplotlib
%matplotlib inline
```

Следующий шаг – задание параметра, от которого зависит наша параметрическая функция. В нашем случае, аргумент будет меняться в диапазоне  $t \in [0, 2\pi]$  Проще всего получить заданные значения с помощью функции linspace библиотеки NumPy.

Функция numpy.linspace() в Python используется для генерации последовательности чисел в линейном пространстве с одинаковым размером шага.

Воспользуемся следующим синтаксисом данной функции для генерации аргумента

`numpy.linspace(start, stop, num)`

Здесь **start** – начальное значение аргумента, **stop** – конечное значение аргумента, **num** – количество значений аргумента. Тогда генерация данных для построения графика может быть выполнена с помощью следующего кода

```
In [2]: # Задание ргумента параметрической функции
t = np.linspace(0, 2*np.pi, 100)
# Вычисляем значения x(t) и y(t)
x = np.sin(3*t + np.pi/2)
y = np.sin(2*t)
```

Наконец построение графика выполним с помощью функций библиотеки Matplotlib

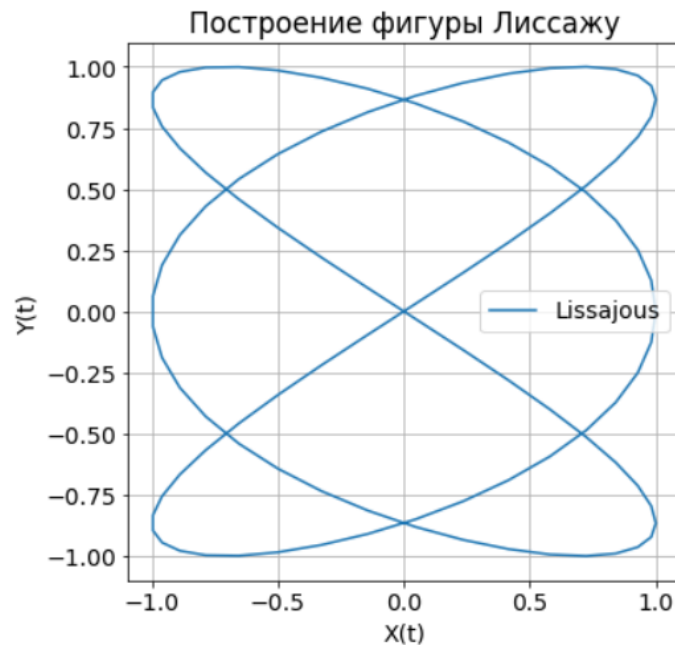
```
In [5]: # Построение графика

fig, ax = plt.subplots()
ax.plot(x, y, label='Lissajous')
ax.legend()
ax.set(xlabel='X(t)', ylabel='Y(t)', title="Построение фигуры Лиссажу")
ax.grid()

plt.rcParams['figure.figsize'] = [6, 6]
plt.rcParams.update({'font.size': 14})

fig.savefig("Lissajous.png")
plt.show()
```

Результат работы данного скрипта



Последнее, что необходимо сделать – выполнить сохранение графика в файл, для этого воспользуемся кодом

```
In [4]: # Сохранение фигуры в файл на диске  
plt.savefig('Lissajous.png')
```

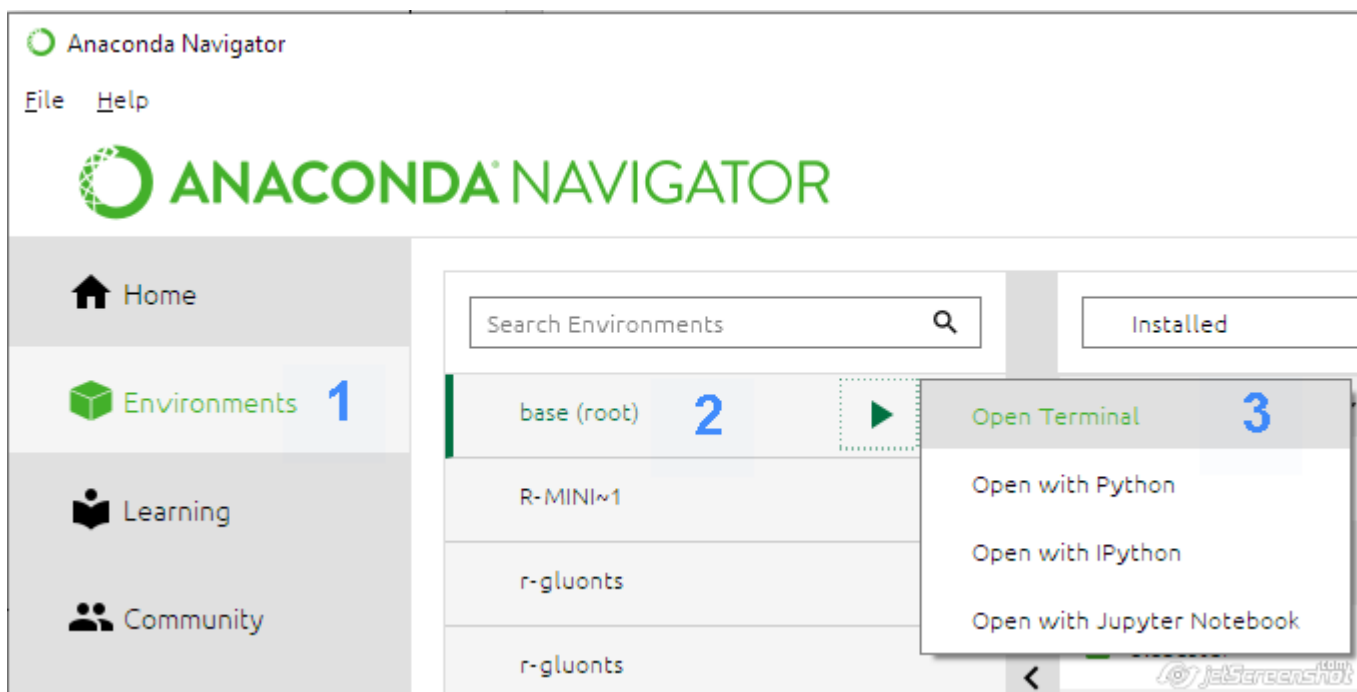
<Figure size 432x432 with 0 Axes>

### Подключение библиотеки Python Control Systems

Библиотека *Python Control Systems* предназначена для базового проектирования и анализа систем управления. Она поддерживает моделирование линейных и нелинейных систем управления, позволяет выполнять анализ систем при типовых воздействиях, частотный анализ, проектирование регуляторов и т.д. Для начала работы с библиотекой необходимо выполнить ее подключение, для этого необходимо воспользоваться менеджером пакетов **pip** – *Python Package Manager*.

Для запуска менеджера пакетов запустите Anaconda Navigator и перейдите на закладку Environments так как это показано на рисунке.

- 1 – Environments
- 2 – base (root)
- 3 – Open Terminal



В появившемся окне терминала введите команду  
**pip install control**  
и нажмите Enter для запуска команды

В случае успешной установки библиотеки появится надпись  
**Successfully installed control-0.9.1**

Пример окна терминала представлен на рисунке ниже. Далее окно терминала можно закрыть.

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

(base) C:\Users\VA>pip install control
Collecting control
  Downloading control-0.9.1.tar.gz (357 kB)
    |████████████████████████████████████████| 357 kB 819 kB/s
Requirement already satisfied: numpy in c:\users\va\anaconda3\lib\site-packages (from control) (1.21.5)
Requirement already satisfied: scipy in c:\users\va\anaconda3\lib\site-packages (from control) (1.7.3)
Requirement already satisfied: matplotlib in c:\users\va\anaconda3\lib\site-packages (from control) (3.5.1)
Requirement already satisfied: kiwisolver>=1.0.1 in c:\users\va\anaconda3\lib\site-packages (from matplotlib->control) (1.3.2)
Requirement already satisfied: pillow>=6.2.0 in c:\users\va\anaconda3\lib\site-packages (from matplotlib->control) (9.0.1)
Requirement already satisfied: pyparsing>=2.2.1 in c:\users\va\anaconda3\lib\site-packages (from matplotlib->control) (3.0.4)
Requirement already satisfied: cyclor>=0.10 in c:\users\va\anaconda3\lib\site-packages (from matplotlib->control) (0.11.0)
Requirement already satisfied: python-dateutil>=2.7 in c:\users\va\anaconda3\lib\site-packages (from matplotlib->control) (2.8.2)
Requirement already satisfied: packaging>=20.0 in c:\users\va\anaconda3\lib\site-packages (from matplotlib->control) (21.3)
Requirement already satisfied: fonttools>=4.22.0 in c:\users\va\anaconda3\lib\site-packages (from matplotlib->control) (4.25.0)
Requirement already satisfied: six>=1.5 in c:\users\va\anaconda3\lib\site-packages (from python-dateutil>=2.7->matplotlib->control) (1.16.0)
Building wheels for collected packages: control
  Building wheel for control (setup.py) ... done
  Created wheel for control: filename=control-0.9.1-py2.py3-none-any.whl size=364709 sha256=de2c107e0b3d0f55f0d7a79b2154da97454bd9a454f66d6ed6fc1a074e1f3872
  Stored in directory: c:\users\va\appdata\local\pip\cache\wheels\6e\8e\71\ee16865ba735139c6b4b9581a60028b7bf63468071ee308cb1
Successfully built control
Installing collected packages: control
Successfully installed control-0.9.1

(base) C:\Users\VA>
```

После установки библиотеки необходимо создать новый блокнот Jupyter и приступить к созданию новой системы управления.

Предположим, что передаточная функция системы имеет вид

$$W(s) = \frac{s+2}{3s^3+4s^2+5s+3}$$

Тогда, используя функции **tf**, аналогичную функции в пакете Control Systems Matlab, можно выполнить определение системы следующим образом

```
In [1]: from control.matlab import *
num = [1., 2.] # Числитель передаточной функции
den = [3., 4., 5., 3] # Знаменатель передаточной функции
W = tf(num, den) # Передаточная функция в виде Transfer Function
```

Реакцию системы на единичный скачок и импульсное воздействие может быть получена с помощью функций **step** и **impulse**

```
In [2]: Y1, T1 = step(W) # Реакция системы на единичный скачок
Y2, T2 = impulse(W) # Реакция системы на импульсное воздействие
```

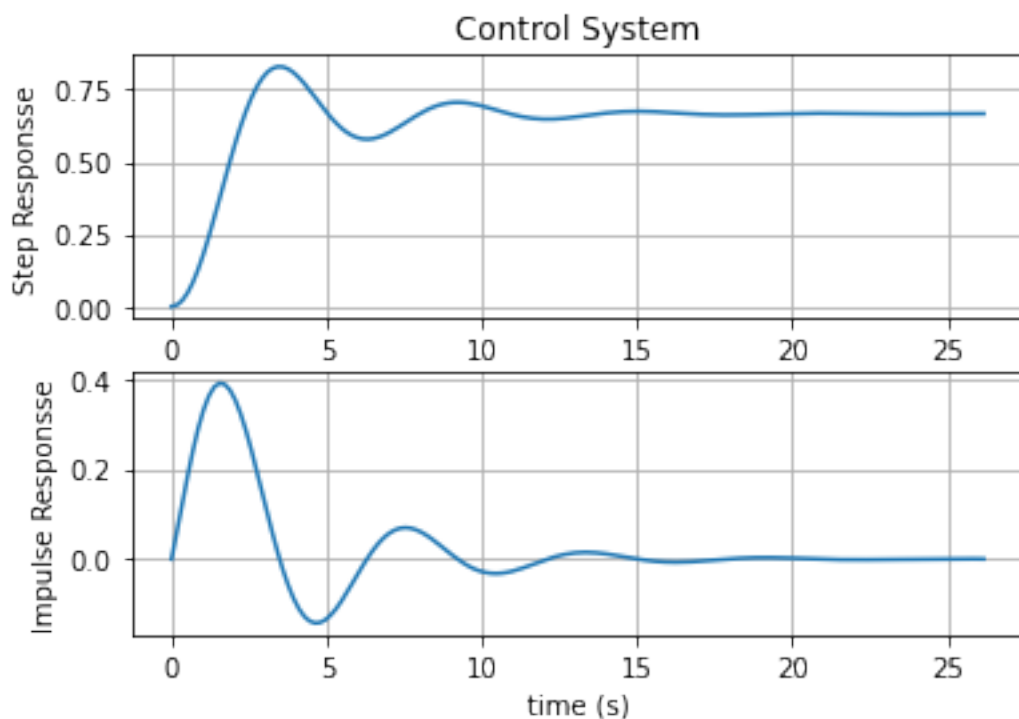
Остается только построить графики воздействий на одной общей фигуре

```
In [3]: import matplotlib.pyplot as plt
plt.subplot(2, 1, 1)
plt.plot(T1, Y1)
plt.title('Control System')
plt.ylabel('Step Responsse')
plt.grid(True)

plt.subplot(2, 1, 2)
plt.plot(T2, Y2)
plt.xlabel('time (s)')
plt.ylabel('Impulse Responsse')
plt.grid(True)

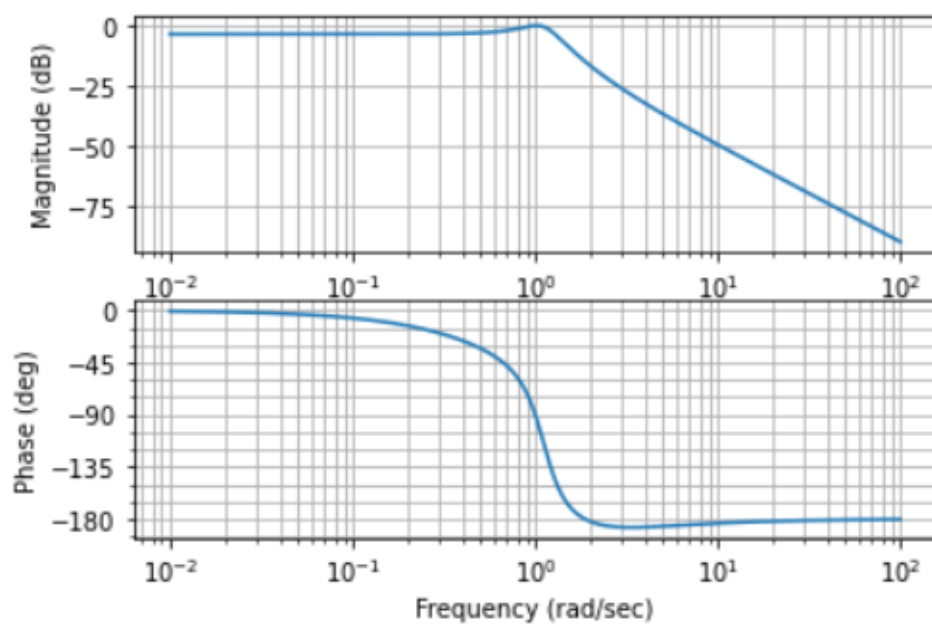
plt.show()
```

Результат работы скрипта представлен на рисунке ниже



Добавим возможность построения диаграммы Боде. Сделать это достаточно просто, достаточно вызвать функцию **bode** и передать в качестве параметра идентификатор ранее созданной передаточной функции

```
In [4]: mag, phase, omega = bode(w, dB=True)
plt.plot()
plt.show()
```



# Варианты задания

№	Передаточная функция разомкнутой системы
1	$W = \frac{2}{s^4 + 5s^3 + 5s^2 + 3s + 1}$
2	$W = \frac{1}{0,05s^4 + 0,1s^3 + s^2 + s + 1}$
3	$W = \frac{1}{0,1s^3 + 0,1s^2 + s + 1}$
4	$W = \frac{100}{5s^4 + 0,1s^3 + 2s^2 + 2s + 1}$
5	$W = \frac{1}{8s^3 + 4s^2 + 2s + 1}$
6	$W = \frac{10}{s^5 + 3s^4 + 2s^3 + 2s^2 + s + 1}$
7	$W = \frac{3}{0,1s^3 + 0,01s^2 + 0,1s + 1}$
8	$W = \frac{10}{2s^3 + 2s^2 + s + 1}$
9	$W = \frac{1}{s^3 + 0,1s^2 + 0,1s + 1}$
10	$W = \frac{10}{2s^5 + 3s^4 + 3s^3 + 0,5s^2 + 0,5s + 1}$

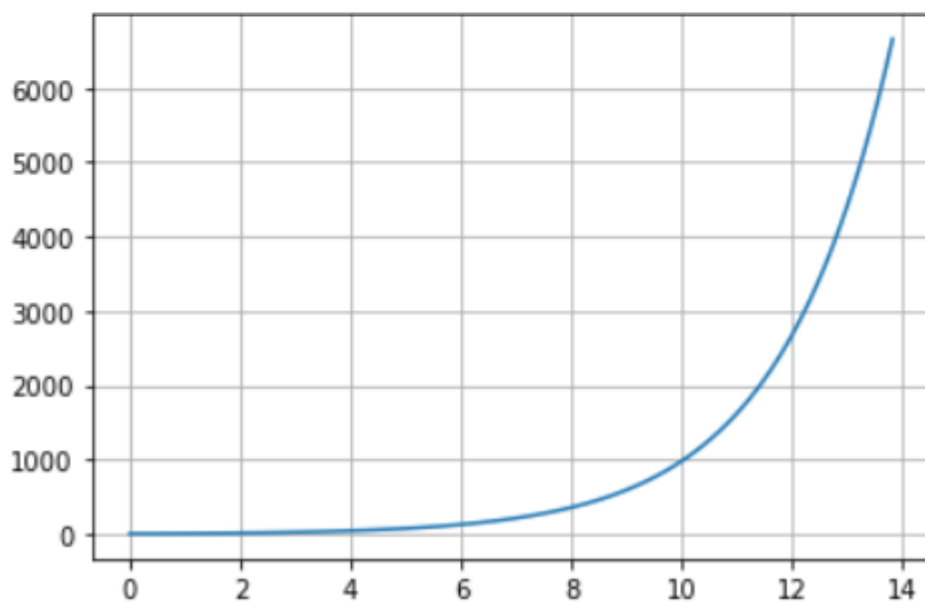
Если передаточная функция разомкнутой системы окажется неустойчивой, необходимо выполнить замыкание отрицательной обратной связью и повторить анализ

### Пример неустойчивой системы

```
In [5]: num8 = [10.]  
den8 = [2., 1., -1.]  
w8 = tf(num8, den8)  
print('Полюсы W(s)')  
print(pole(w8))
```

Полюсы W(s)  
[-1. 0.5]

```
In [6]: Y8, T8 = step(w8)  
plt.plot(T8, Y8)  
plt.grid(True)
```



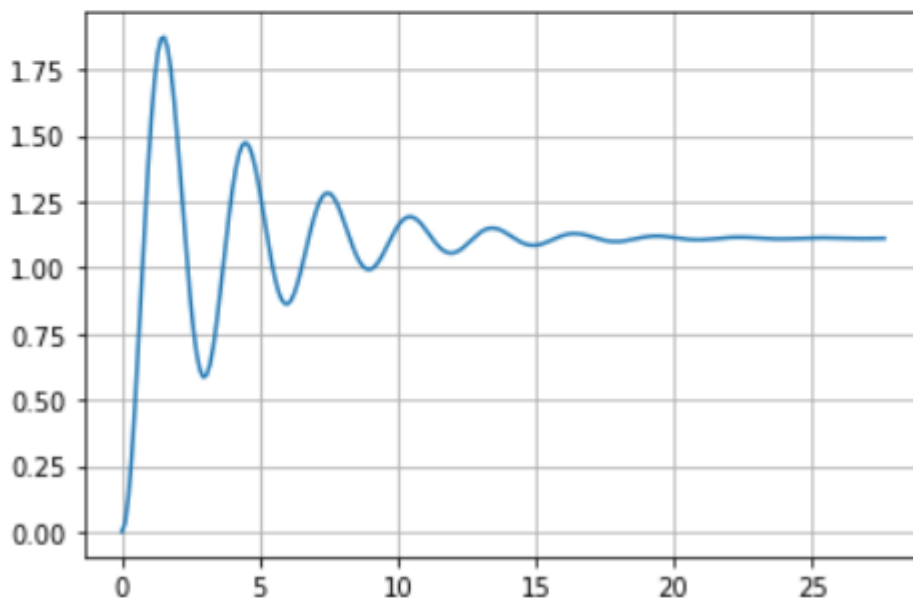


## Замыкание обратной связью

```
In [7]: G = tf([1.], [1.])
F8 = feedback(W8, G)
Y8, T8 = step(F8)
print('Полюсы  $\Phi(s)$ ')
print(pole(F8))
plt.plot(T8, Y8)
plt.grid(True)
```

Полюсы  $\Phi(s)$

$[-0.25+2.10653744j \quad -0.25-2.10653744j]$



Полный список функций библиотеки Control Systems, совместимых с функциями Matlab доступен по адресу

<https://python-control.readthedocs.io/en/0.9.1/matlab.html#>

## Контрольные вопросы

1. Опишите принцип работы с библиотекой Matplotlib.
2. Опишите принцип работы с библиотекой Control System.

## **Список использованных источников**

1. **Маккини У. Python и анализ данных / У. Маккини** — Пер. с англ. — М.: ДМК Прес, 2020. — 540 с.
2. **Плас Дж.В. Python для сложных задач: наука о данных и машинное обучение / Дж. В. Плас** — Пер. с англ. — СПб.: Питер, 2022. — 576 с.
3. **Грас Дж. Data Science. Наука о данных с нуля / Дж. Грас** — Пер. с англ. — 2-е издание — СПб.: БХВ-Петербург, 2022. — 416 с.
4. **Луц М. Изучаем Python. Том I / М. Луц** — Пер. с англ. — 5-е издание — СПб.: ООО «Диалектика», 2020. — 720 с.
5. **Луц М. Изучаем Python. Том II / М. Луц** — Пер. с англ. — 5-е издание — СПб.: ООО «Диалектика», 2020. — 832 с.
6. **Рашка С. Python и машинное обучение: машинное обучение с использованием Python, scikit-learn и TensorFlow / С. Рашка, В. Мирджалили** — Пер. с англ. — 3-е издание — СПб.: ООО «Диалектика», 2020. — 848 с.
7. **Брюс П. Практическая статистика для специалистов Data Science / П. Брюс, Э. Брюс, П. Гадек** — Пер. с англ. — 2-е издание — СПб.: БХВ-Петербург, 2022. — 352 с.
8. **Васильев А. Программирование на Python в примерах и задачах / А. Васильев** — М.: Эксмо, 2021. — 616 с.
9. **Луц М. Python. Карманный справочник / М. Луц** — Пер. с англ. — 5-е издание — СПб.: ООО «Диалектика», 2020. — 320 с.

**Учебное издание**

*Василий Викторович Альчаков*

**СТРУКТУРЫ ДАННЫХ PYTHON**

Методические указания к выполнению лабораторной работы

Оригинал-макет и вёрстка В.В. Альчаков

© СевГУ, 2023

© Альчаков В.В., 2023