

ИНБИКСТ МФТИ

Карпов В.Э., Сорокоумов П.С.

Указания по выполнению практических работ
по курсу “Управление в технических системах”

Работа 1. Основы моделирования систем управления

2019 г.

Цель работы

Освоить простейшие методы моделирования линейных систем средствами Scipy.

Задачи

1. Освоить представление в Scipy сигналов, вывод их средствами matplotlib.
2. Освоить средства описания линейных систем управления в пакете Scipy, ввод/вывод данных в полученных моделях.
3. Получить и интерпретировать амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики линейной системы.

Порядок выполнения работы

1. Для выполнения работы понадобится работать с функциями работы с данными, используемыми в пакете Scipy и пакете для вывода графики matplotlib. Базовые операции по работе с непрерывными сигналами, предоставляемые пакетом Scipy, описаны в документации: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/signal.html>, раздел Continuous-Time Linear Systems.

Импортируем библиотеку анализа сигналов:

```
import math
import numpy as np
from scipy import signal
import matplotlib.pyplot as plt
```

Создадим массивы данных для вывода примера графика:

```
Xs = range(1,100) # целые от 1 до 99
Ys = [x**0.5 for x in Xs] # корни из этих чисел
```

Создадим график зависимости Ys от Xs:

```
plt.figure()
plt.plot(Xs, Ys)
plt.show()
```

Получим правильный график функции $y = x^{0.5}$:

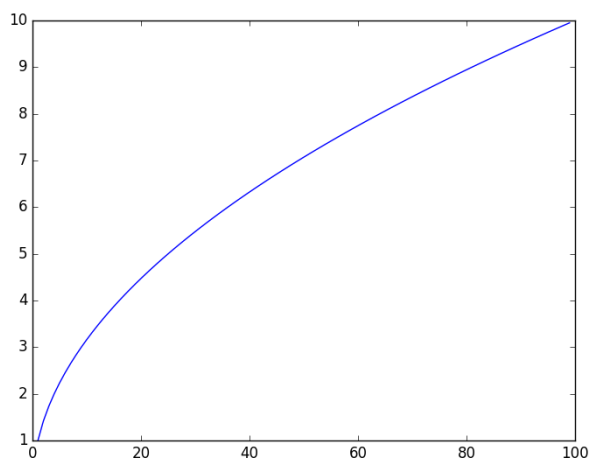


Рис.1. Пример графика, построенного matplotlib

2. Про моделируем линейную систему из конденсатора и резистора, описанную в лекции:

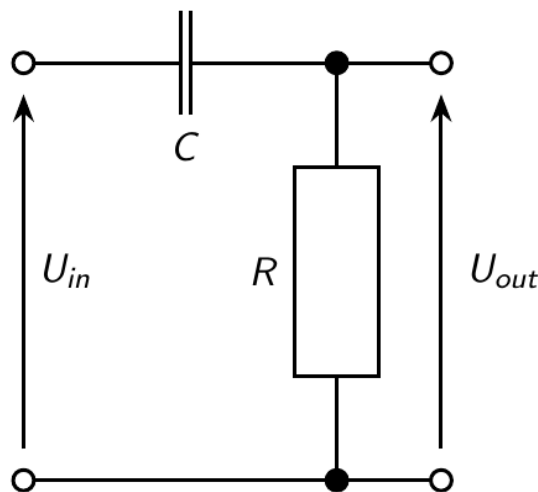


Рис. 2. Моделируемая система

Её передаточная функция имеет вид:

$$px = (1/CR + p)y,$$

где x — напряжение на входе, y — на выходе. Примем далее $R=20\text{кОм}$, $C=10\text{нФ}$. Тогда $px = (5000 + p)y$ и передаточная функция: $W(s) = s / (5000 + s)$.

Для задания непрерывной системы используется функция `lti`. Используем её с параметрами, соответствующими явному заданию коэффициентов передаточной функции:

```
test_RC = signal.lti([1, 0], [1, 5000])
```

В данном варианте вызова функции, как и далее, многочлены задаются набором своих коэффициентов, начиная со старших.

3. Выведем графики амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик этой системы (диаграмму Бode):

```
w, mag, phase = signal.bode(test_RC)
# преобразуем циклические частоты, выдаваемые bode, в обычные
fs = [0.5*w/math.pi for w in w]
plt.figure()
# изобразим графики в полулогарифмическом масштабе
plt.semilogx(fs, mag)
plt.figure()
plt.semilogx(fs, phase)
plt.show()
```

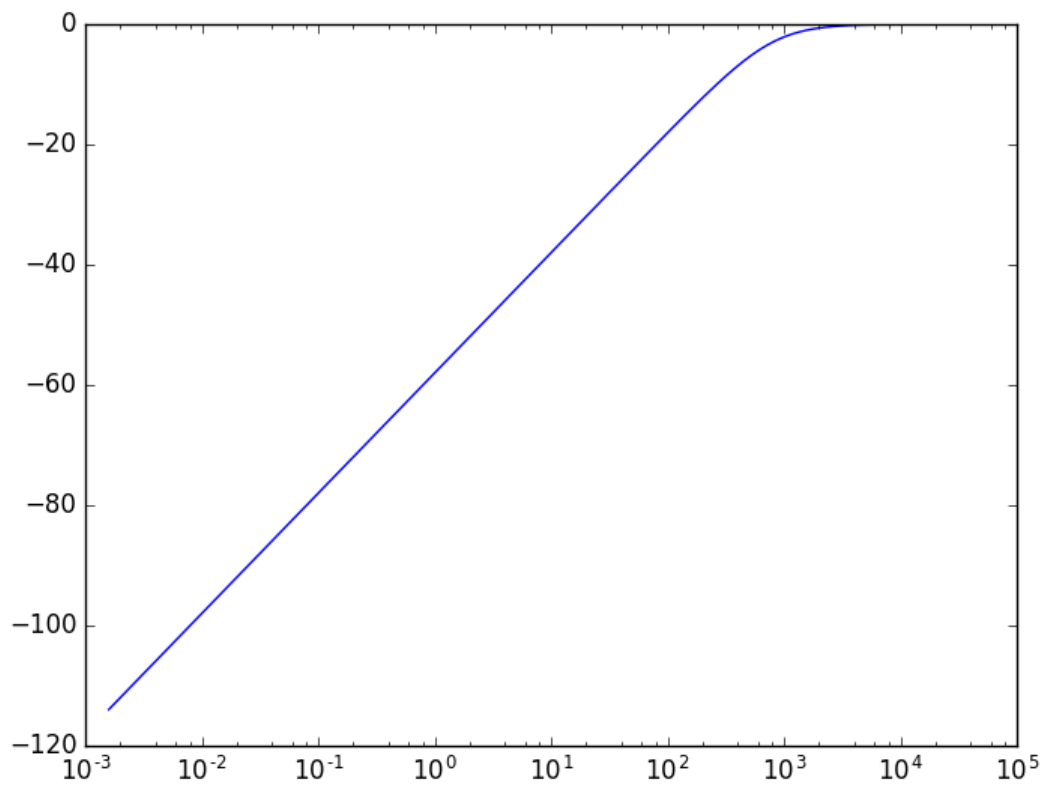


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)

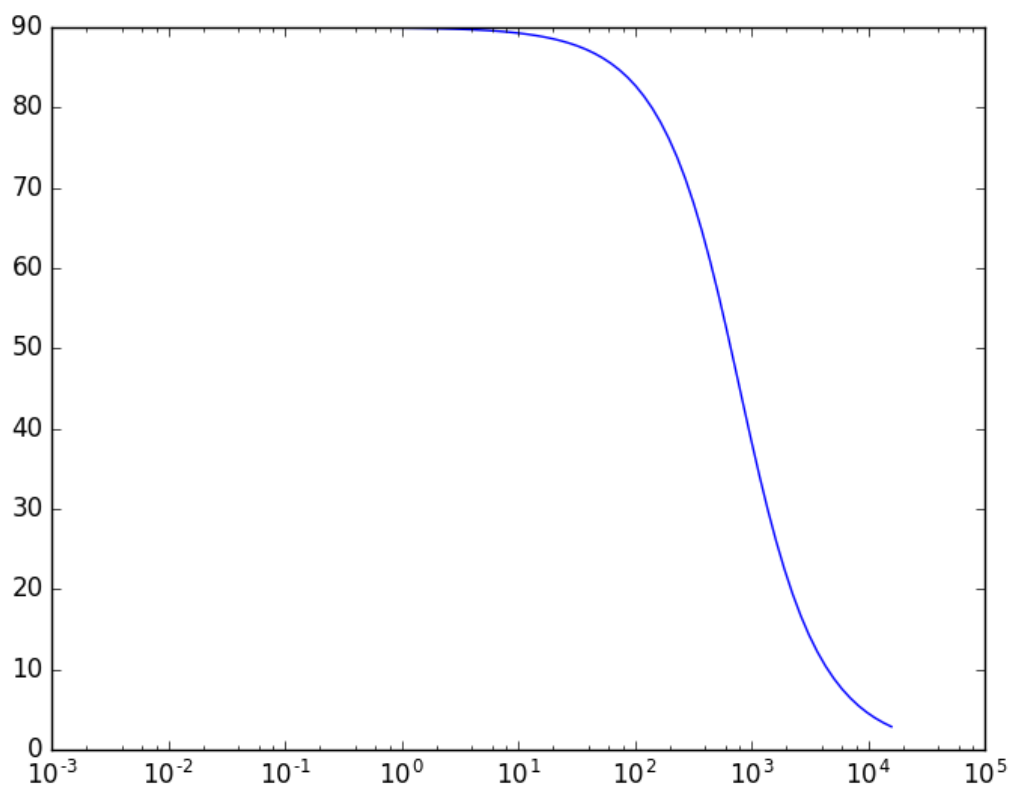


Рис. 4. Фазо-частотная характеристика (ФЧХ).

4. Пропустим через систему заданный сигнал, например, синусоиду.

```
# выберем частоту сигнала
freq = 7.16
# создадим последовательность моментов времени, в которых будет
# вычислен сигнал, так, чтобы длительность исследуемого отрезка
# соответствовала, например, 10 периодам
T = np.linspace(0, 10.0/freq, 1001)
# создадим сигнал в виде синусоиды заданной частоты
S = [math.sin(t*2*math.pi*freq) for t in T]
# пропустим его через систему
Tout, yout, xout = signal.lsim(test_RC, S, T)
# выведем входной и выходной сигналы
plt.figure()
plt.plot(T, S)
plt.figure()
plt.plot(Tout, yout)
plt.show()
```

Если вывести полученное значение `yout`, можно получить представление о проведённом системой преобразовании:

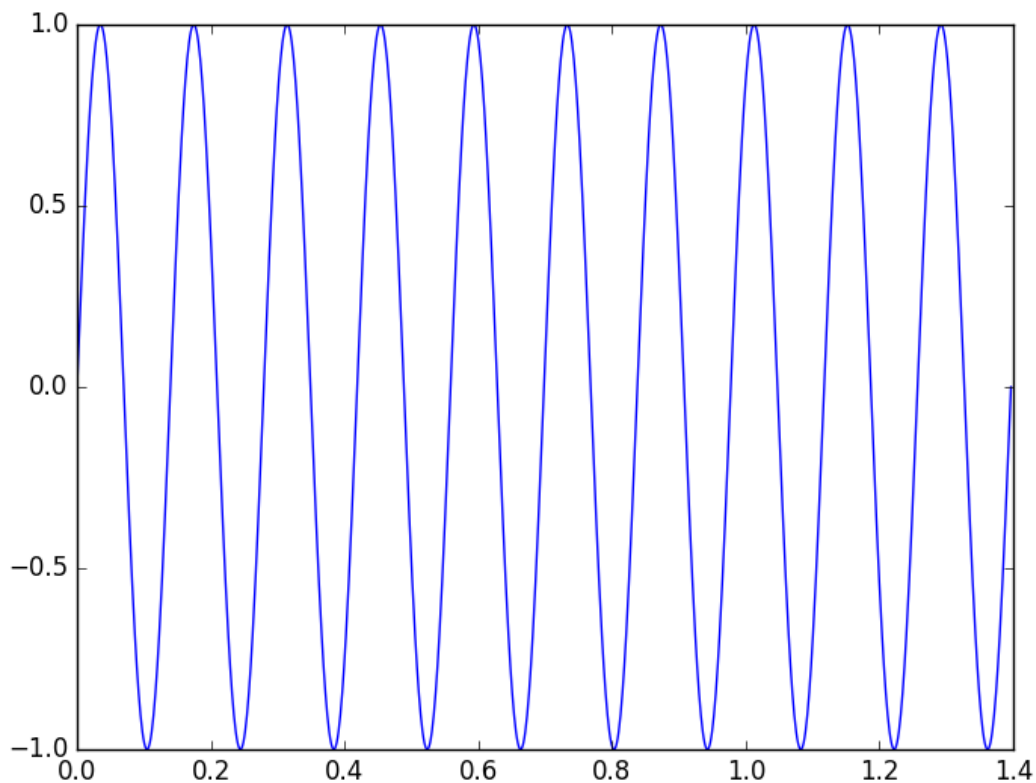


Рис. 5. Входной синусоидальный сигнал

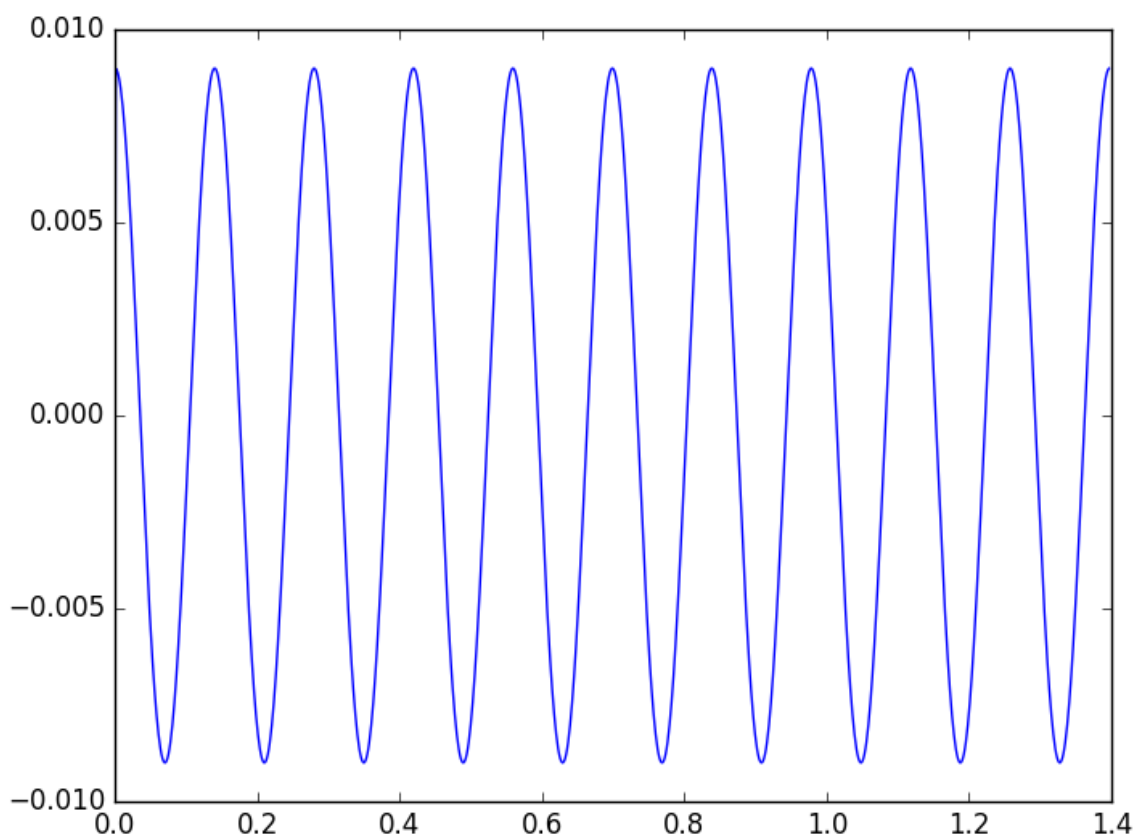


Рис. 6. Выходной сигнал

Контрольные задания и вопросы

1. Каковы области значений ФЧХ? АЧХ?
2. Почему частотные характеристики часто изображают на графике в полупологарифмическом масштабе?
3. Каковы параметры синусоидального сигнала, пропущенного через систему в пункте 4: амплитуда, частота, циклическая частота?
4. Какова амплитуда сигнала на выходе системы?
5. Как изменились фаза и амплитуда выходного сигнала относительно входного? Соответствует ли это изменение тому, которое можно было бы ожидать по АЧХ и ФЧХ?

Задания для самостоятельной работы

1. По согласованию с преподавателем выберите одну из систем, описываемых приведёнными ниже дифференциальными уравнениями (вход системы везде x , выход - y):
 1. $\dot{x} = (1+ap) y$
 2. $p x = (1+ap) y$

3. $bx = (1+bp)y$
4. $(1+bp)x = c(1+ap)y$
5. $cx = (1+ap+bp^2)y$
6. $cp x = (1+ap+bp^2)y$
7. $(1+cp)x = (1+ap+bp^2)y$
8. $(1+ap)x = (1+cp^2)y$
9. $(1+bp)x = (1+bp^2)(1+cp)y$
10. $(1+ap)x = (1+bp^2)y$

2. Вычислите передаточную функцию системы.

3. Рассчитайте АЧХ и ФЧХ системы по её передаточной функции.

4. Создайте модель в `scipy.signal`, описывающую систему. Значения констант следует для простоты принять равными небольшим целым числам.

5. Подавая на вход модели синусоидальный сигнал нескольких различных амплитуд, но с постоянной частотой, отследите реакцию модели (амплитуду и фазу выходного сигнала). Какой вывод можно сделать?

6. Подавая на вход модели синусоидальный сигнал нескольких различных частот, но с постоянной амплитудой, отследите реакцию модели (амплитуду и фазу выходного сигнала). Какой вывод можно сделать?

7. Постройте графики частотных характеристик моделируемой системы. Оцените степень их совпадения с рассчитанным теоретически.

8. Сравните вычисленные и экспериментальные АЧХ и ФЧХ. Сделайте выводы.

9. Рассчитайте переходную функцию системы по её передаточной функции.

10. Подайте на вход модели единичное ступенчатое воздействие. Как соотносятся реакция системы на него и переходная функция?