

ИНБИКСТ МФТИ

Карпов В.Э., Сорокоумов П.С.

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

Работа 2. Анализ устойчивости

2019 г.

Цель работы

Освоить возможности `scipy.signal` для оценки устойчивости линейных систем управления.

Задачи

Получить общее понимание особенностей работы устойчивых и неустойчивых систем управления

Освоить распространённые средства анализа устойчивости линейных систем

Порядок выполнения работы

Проанализируем устойчивость того же фильтра, что и в прошлой работе, но при различных значениях параметра R (учитывая при этом, что из физических соображений этот фильтр при всех допустимых R устойчив). Как и раньше, из дифференциального уравнения:

$$p\dot{x} = (1/CR + p)y$$

при $C = 10\text{нФ}$ следует, что передаточная функция $W(s) = s / (s + 10^8/R)$. Найдём полюс этой передаточной функции для большого количества различных значений R ; чтобы учесть как малые, так и большие R , зададим их здесь равномерно в логарифмическом масштабе:

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

# создаём точки для проверки
p_num = 101
vs = np.logspace(1, 7, p_num)
# массив для результатов (так как полюс один, то достаточно
# массива, а не матрицы)
Ps = np.empty(p_num)
for i in range(p_num):
    # рассчитываем нули, полюсы и усиление для проверяемой
    # системы
    z, p, k = signal.tf2zpk([1, 0], [1, 1e8/vs[i]])
    # полюс всегда гарантированно один, поэтому сохраняем его
    Ps[i] = p[0]

# изобразим результаты на графике
fig, ax = plt.subplots()
ax.plot(np.real(Ps), np.imag(Ps), '-.')
# так как график не всегда нагляден, выведем часть
# результатов и в текстовом виде
for i in range(0, p_num, 10):
    print('For R={0:.2f} P=({1:.2f}, {2:.2f})'.format(
```

```
vs[i],Ps[i].real, Ps[i].imag))
plt.show()
```

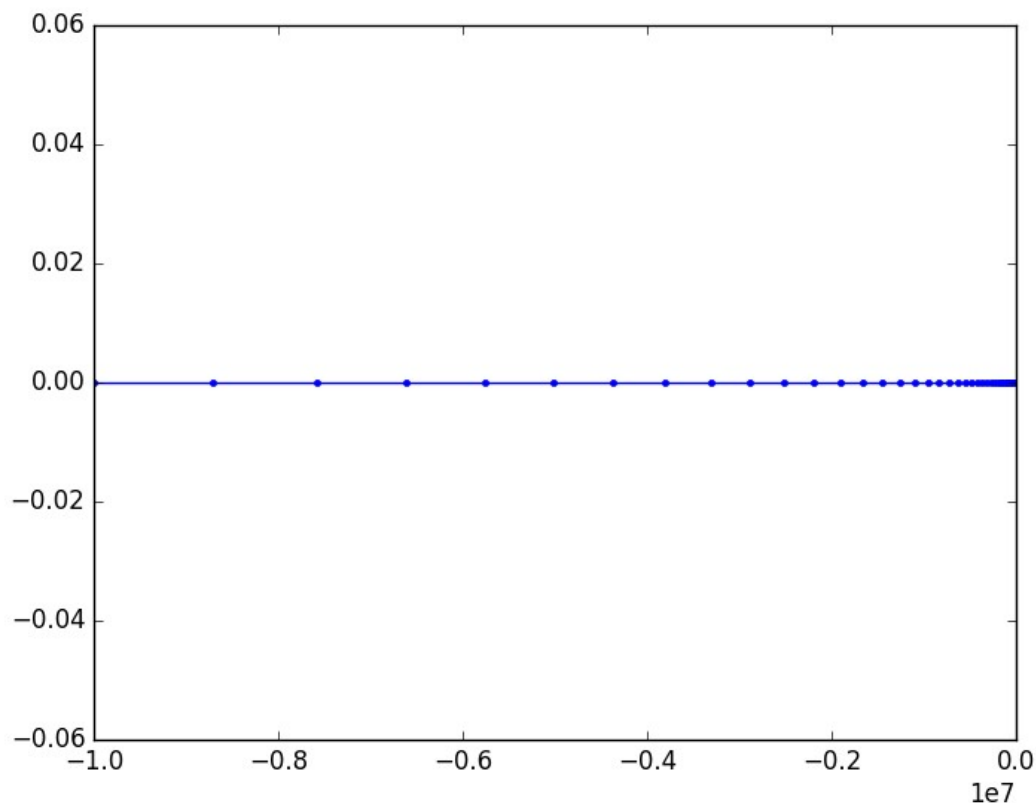


Рис. 1. Изменение положения полюса системы при различных параметрах R

Данная программа выводит следующие сведения о полюсе:

```
For R==10.00 P==( -10000000.00, 0.00)
For R==39.81 P==( -2511886.43, 0.00)
For R==158.49 P==( -630957.34, 0.00)
For R==630.96 P==( -158489.32, 0.00)
For R==2511.89 P==( -39810.72, 0.00)
For R==10000.00 P==( -10000.00, 0.00)
For R==39810.72 P==( -2511.89, 0.00)
For R==158489.32 P==( -630.96, 0.00)
For R==630957.34 P==( -158.49, 0.00)
For R==2511886.43 P==( -39.81, 0.00)
For R==10000000.00 P==( -10.00, 0.00)
```

По графику и выведенным значениям видно, что система остаётся устойчивой для всех проверенных R, как и должно быть.

Контрольные задания и вопросы

Могут ли полюса быть комплексными? Мнимыми? Действительными положительными? Нулевыми?

Может ли неустойчивая система создать конечный отклик на конечное воздействие?

Может ли устойчивая система создать бесконечный отклик на конечное воздействие?

Если сделать систему замкнутой, добавив к ней отрицательную обратную связь, может ли измениться её устойчивость? А положительную?

Приведите бытовые примеры отрицательной и положительной обратной связи.

Задания для самостоятельной работы

1. По согласованию с преподавателем выберите одну из систем, описываемых приведёнными ниже дифференциальными уравнениями (вход системы везде x , выход — y) для исследования изменения её сходимости в зависимости от изменения указанного параметра:

$\dot{x} = (1+ap)y$, меняется a ;

$\dot{p}x = (1+ap)y$, меняется a

$\dot{b}x = (1+bp)y$, меняется b

$(1+bp)\dot{x} = c(1+ap)y$, меняется a

$c\dot{x} = (1+ap+bp^2)y$, меняется b

$\dot{c}x = (1+ap+bp^2)y$, меняется a

$(1+cp)\dot{x} = (1+ap+bp^2)y$, меняется b

$(1+ap)\dot{x} = (1+cp^2)y$, меняется c

$(1+bp)\dot{x} = (1+bp^2)(1+cp)y$, меняется b

$(1+ap)\dot{x} = (1+bp^2)y$, меняется b

2. Вычислите передаточную функцию системы.

3. С помощью `scipy.signal` вычислите, как меняются полюсы системы при изменении указанного параметра (остальные параметры можно принять равными небольшим целым числам).

4. Проверьте, какова будет реакция системы, если подать конечный сигнал на неё при параметре, делающем её устойчивой. Затем - при параметре, делающем её неустойчивой (если оказалось, что при всех значениях изменяемого параметра система устойчива либо неустойчива, надо выполнить только одну из этих двух проверок).

5. Постройте графики АЧХ и ФЧХ для двух систем, описанных в пункте выше. Имеет ли смысл это действие для неустойчивой системы?

6. Превратите систему в замкнутую, добавив в неё отрицательную обратную связь выхода со входом. Повторите для полученной системы пункты задания 2-5. Влияет ли обратная связь на устойчивость системы? На АЧХ, ФЧХ?